

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN

“AUDITORIAS DEL AGUA: UNA HERRAMIENTA  
PARA RECUPERAR VOLUMENES DE AGUA  
POTABLE Y DERECHOS DE RECAUDACIÓN”

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO CIVIL**  
P R E S E N T A :  
**LEDESMA GARCÍA HEIDI YOLANDA**

ASESOR: ING. LUIS POMPOSO VIGUERAS MUÑOZ



MÉXICO

2005

m. 344395



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCIÓN

HEIDI YOLANDA LEDESMA GARCIA

**Presente**

Con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobado su tema de tesis y asesor.

TÍTULO:

"AUDITORÍAS DEL AGUA: UNA HERRAMIENTA PARA RECUPERAR VOLUMENES DE AGUA POTABLE Y DERECHOS DE RECAUDACION"

ASESOR: Ing. LUIS POMPOSO VIGUERAS MUÑOZ

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

**Atentamente**

**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**

San Juan de Aragón, México, 24 de septiembre de 2004.

LA DIRECTORA

ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



C p Secretaria Académica  
C p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil  
C p Asesor de Tesis

LTG/AIR/rra

### *¡GRACIAS DIOS!*

*Porque me has enseñado que nunca hay que dar ni la desgracia ni la fortuna como absolutas, siempre hay que darle tiempo al tiempo, para ver si algo es malo o bueno. La vida da tantas vueltas, y es tan paradójico su desarrollo, que lo malo se hace bueno, y lo bueno malo. Lo mejor es esperar siempre el día de mañana, pero sobre todo confiar en ti, porque todo sucede con un propósito positivo para nuestras vidas...*

### *¡GRACIAS MAMÁ Y PAPÁ!*

*Hoy como siempre los recuerdo, están en mi mente como un pensamiento de alegría, provocándome miles de sonrisas, evocando aquellos momentos cuando la pasábamos juntos hasta el instante en que tuvimos que separarnos, cuando sentí que mi alma y mi corazón se destrozaban y no pude evitar derramar mis lágrimas...*

*Si pudiera pedir un deseo pediría volver a estar con ustedes, pediría simplemente que nunca se hubieran ido y de nuevo tendría una esperanza, pero sé que tan sólo es un sueño y nuevamente regreso a mi realidad, y aunque seguiré queriendo desde lo más profundo de mi corazón estar con ustedes, vuelvo a mirar al frente, camino despacio pero firme, levanto el vuelo y sigo viviendo intensamente.*

*En todos mis momentos los tengo presentes, cuando son momentos tristes los veo a mi lado brindándome todo su apoyo, cuando son alegres también los veo a mi lado compartiendo y esbozando bellas sonrisas en sus rostros, y hoy solo quería decirles que a pesar de la distancia, se que están conmigo y los amaré eternamente porque siento su presencia dentro de mi ser y su imagen todavía se refleja en la luz de mis ojos, les agradezco infinitamente haber hecho de mí una persona educada y honesta y atesoro los momentos que pasamos juntos porque han llenado de alegría mi vida...*

### ¡GRACIAS PATY, JORGE Y DANIEL!

Porque están conmigo cuando más los necesito, cuando estoy triste y necesito de un abrazo, de un consejo o tal vez solo que me escuchen.

Porque cuando estoy enojada me soportan y me dicen "calma no pasa nada estamos junto a ti" y aunque les digo cualquier cosa y los insulto sin intención me entienden y con solo decir "disculpa, me equivoqué" sin pensarlo me perdonan.

Porque cuando estoy alegre comparten mis risas y disfrutan conmigo mis logros.

Porque cuando estoy mal me dan un consejo y me brindan la confianza para contarles lo que me pasa.

Porque cuando tengo algún problema tal vez no sepan que decirme, pero están ahí para apoyarme en lo que necesito.

Y porque tal vez algún día no podremos seguir juntos, pero quiero que sepan que cuando amas a alguien como yo los amo siempre podrán contar conmigo...

### RODRIGO Y DANIELA

Desde el día que nacieron, al tenerlos entre mis brazos sentí una gran energía recorrer todo mi interior, eran tan tiernos, tan pequeños, tan desvalidos, sentí una alegría indescriptible, sentí ganas de llorar de emoción y desde ese momento supe que siempre tendrían todo mi amor.

Con el paso del tiempo, ese sentimiento a crecido, y cada que veo en sus caritas esas sonrisitas tiernas me siento tan contenta porque no hay nada comparable como el dar y recibir el amor de los niños.

Doy gracias a Dios y a la vida por la dicha de disfrutar a mis sobrinos porque son parte importante de mi mundo y mi razón de vivir.

### EVARISTO

Eres ese ser tan especial que puso Dios en mi camino, que sabe dibujar esperanzas, que conoce mis temores y deseos, que me comprende más allá de la mirada y es capaz de secar hasta la última de mis lágrimas con una sonrisa.

Gracias a ti he comprendido que el amor verdadero esta basado en la realidad, no en un sueño de encontrar al príncipe azul o a la princesa encantada. El amor es una decisión consciente que requiere tiempo, requiere conocer a la otra persona y reconocer los defectos del ser amado, requiere ver lo bueno y lo malo de la relación y superarlo. El amor nace de la convivencia, de compartir, de dar y recibir, de intereses mutuos, de sueños compartidos... *TE AMO.*

### *A MIS AMIGOS*

*Agradezco a todos los amigos que he encontrado en el transcurso de mi vida, a aquellos que me alientan, que saben encontrar lo mejor de mí misma, que me aceptan como soy, que me ayudan a caminar con nuevas fuerzas y me estimulan a buscar nuevas metas...*

### *A MIS PROFESORES*

*Agradezco profundamente su valiosa ayuda en mi formación profesional, gracias por su apoyo y por compartir sus conocimientos y sus experiencias.*

*Agradezco especialmente a los ingenieros*

*Luis Pomposo Viqueiras Muñoz*

*Raúl Abraham Sánchez Sánchez*

*porque sin su apoyo no lo hubiera logrado jamás...*

*“ Si los mexicanos usamos nuestros ríos como drenaje y la industria los inficiona aún más sin controles oficiales, descargando aguas residuales con metales pesados, ácidos, bases, grasas y aceites a elevadas temperaturas, materiales tóxicos, orgánicos e inorgánicos sin tratamiento alguno; si además de lo anterior, en la actividad agrícola se utilizan herbicidas, plaguicidas y fertilizantes que van a dar a los ríos y a los mares cuando la lluvia lava los campos, una lluvia que además ya se precipita envenenada por los óxidos, monóxidos e hidrocarburos que han contaminado ya la atmósfera; si además hemos destruido bosques y selvas, nos hemos negado a la rotación de cultivos y hemos secado nuestros suelos alterando sensiblemente las temporadas de lluvia y los volúmenes de precipitación; y finalmente, si los mantos acuíferos no se recargan por insuficiencia de lluvias o por el crecimiento alarmante de las manchas urbanas que demandan cada vez más agua e impiden su captación en el subsuelo, no nos sorprendamos entonces que tanto el sector urbano como el sector rural se vayan gradualmente quedando sin el líquido elemento, dado que no sólo estamos matando nuestros ríos, sino que también o más grave aún, estamos matando las fuentes donde nace la riqueza hidráulica de México.*

*Mientras que los capitalinos continúen consumiendo el doble del agua del promedio de los países desarrollados; mientras no se cambien en México los hábitos de desperdicio; mientras no se cree una cultura del agua y se diseñen sistemas de captación de la misma; mientras no se pague el costo de importación y de extracción de otras entidades federativas sin subsidios de ninguna naturaleza y se siga regalando aquello de lo que carecemos como si no estuviera amenazada nuestra existencia; mientras no se cree conciencia respecto al agotamiento de este carísimo recurso, ya no renovable, ¿qué futuro nos espera? . . . ”*

Francisco Martín Moreno  
La Sequía 2004



## INDICE

### INTRODUCCION

I.	ANTECEDENTES	1
II.	EL AGUA EN EL DESARROLLO SUSTENTABLE	10
2.1	Marco Legal	11
2.2	Aspectos físicos	13
2.3	Aspectos sociales	15
2.4	Sistema hidrológico	17
2.4.1	Precipitación	17
2.4.2	Aguas subterráneas	19
2.4.3	Aguas superficiales	24
2.5	Usos del agua	26
2.5.1	Uso agropecuario	27
2.5.2	Uso para abastecimiento público	28
2.5.3	Uso para industria autoabastecida	29
2.5.4	Uso en la generación de energía	30
2.5.5	Reutilización de agua residual	31
2.6	Infraestructura hidráulica	32
2.7	Instrumentos de gestión	33
2.7.1	Tarifas de agua potable, alcantarillado y saneamiento	34
2.7.2	Normatividad	35
2.8	Escenarios futuros	40
III.	ESQUEMAS DE FINANCIAMIENTO DE LOS SERVICIOS HIDRAULICOS	44
3.1	Auditorías del agua	52
3.2	Metodología de auditorías del agua para grandes consumidores	53





3.3	Consideraciones generales	61
IV.	INTRODUCCIÓN AL FLUJO EN TUBERIAS	63
4.1	Concepto de tubos a presión	63
4.2	Empleo y características técnicas	64
4.3	Ecuaciones de conservación	66
4.3.1	Relaciones integrales para un volumen de control	69
4.3.2	Ecuaciones de conservación para un volumen de control simplificado	71
4.3.3	Ecuaciones de conservación para un tubo circular recto a presión	77
4.3.4	Diagrama de energía	81
V.	TECNOLOGÍAS DE MEDICION	87
5.1.	Medidores utilitarios	90
5.1.1	Medidores de velocidad	91
5.1.1.1.	Medidores de paletas	92
5.1.1.2.	Medidores de propela	95
5.1.1.3.	Medidores de turbina	96
5.1.2	Medidores volumétricos	99
5.1.2.1.	Medidores de disco nutante	101
5.1.2.2.	Medidores de émbolo oscilante	102
5.1.2.3.	Medidores de pistón alternativo	102
5.1.2.4.	Medidores de émbolo rotativo	103
5.1.3	Medidores compuestos, combinados y proporcionales	105
5.1.3.1.	Medidores compuestos y combinados	105
5.1.3.2.	Medidores proporcionales	106
5.1.4	Medidores magnéticos	107
5.1.5	Sistemas de información	112
5.1.5.1.	Sistemas de lectura automática	113



5.1.5.1.1	Sistema de toque	115
5.1.5.1.2	Sistema de telefonía alámbrica	116
5.1.5.1.3	Sistema de radiofrecuencia	116
5.1.5.1.4	Sistema de red fija	120
5.1.5.2.	Sistemas de control supervisorio y de adquisición de datos (SCADA)	121
5.1.5.3.	Telegestión	124
5.2.	Medidores auditores	126
5.2.1	Tubo Pitot	126
5.2.1.1.	Tubo de Pitot Simplex	128
5.2.1.2.	Tubo de Pitot Annubar	130
5.2.2	Medidor ultrasónico	132
5.2.2.1.	Medidor ultrasónico de tiempo en tránsito	133
5.2.2.2.	Medidor ultrasónico de efecto doppler	135
VI.	CASOS DE ESTUDIO	137
6.1.	Metodología de trabajo y análisis de resultados	139
6.2.	Estudios realizados	153
VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	215
7.1.	Conclusiones	215
7.2.	Recomendaciones	221

## BIBLIOGRAFÍA



## INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los bienes más importantes del planeta y al que se tiene menos acceso, por ello el tema del agua constituye uno de los principales problemas a los que se enfrentan diversos países en el mundo.

La situación de nuestro país en este rubro es grave, actualmente se pretende dar mayor autonomía a los municipios del país para que puedan, de manera más eficiente y eficaz, administrar, operar, mantener, conservar, rehabilitar, ampliar y mejorar los recursos Hidráulicos y los servicios que con ellos se relacionan, en sus correspondientes jurisdicciones, mediante los Organismos Descentralizados Operadores de los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Desgraciadamente hasta ahora los resultados obtenidos no han sido del todo alentadores ni favorables, debido a la problemática económica que representa la realización de proyectos que ayuden a resolver el problema del agua. Puesto que no se puede administrar adecuadamente un bien que no se mide, como es el caso de los servicios hidráulicos (agua potable, drenaje y saneamiento), es necesaria la implementación de auditorías del agua mediante las cuales es posible determinar los volúmenes suministrados, los volúmenes consumidos y los volúmenes producto de fugas y tomas clandestinas. Es por ello que las auditorías del agua constituyen una herramienta de apoyo a los Organismos Operadores en su trabajo de administración, operación, mantenimiento y desarrollo de los servicios hidráulicos, ya que proveen los elementos suficientes para reestructurar tarifas de derechos considerando el costo que implica la disposición del agua y del drenaje en los inmueble y la recaudación de derechos, la cual siempre debe ser mayor a los costos de disposición.

A través del desarrollo de esta tesis se presenta una introducción a los conceptos de auditorías del agua, esta tesis es un instrumento para dirigir auditorías del agua que presenta casos de estudio reales y es un documento técnico de soporte que debe ser enriquecido continuamente para desarrollar esta nueva área de trabajo.



En el capítulo I, se presentan algunos aspectos que proporcionan una clara visión de la importancia que tiene el agua; asimismo se presenta de una exposición cronológica de las soluciones que la ingeniería mexicana ha dado a los problemas de abastecimiento de agua de la ciudad, desde la fundación de Tenochtitlán hasta nuestros días.

En el capítulo II se muestra brevemente el panorama nacional en cuanto a sus aspectos geográficos y socioeconómicos, se presenta información de la disponibilidad natural media del agua, de la situación que guardan las aguas superficiales y subterráneas en nuestro territorio. Se presenta también información de los principales usos del agua y reutilización de la misma, así como de la infraestructura hidráulica del país. Este capítulo proporciona información acerca de la administración del agua y la parte normativa que la rige. Finalmente se presenta un breve análisis de las tendencias de crecimiento que se han tenido en el país en las últimas décadas y de cómo esto ha afectado la disponibilidad natural de agua, lo cual sirve de marco para mostrar los escenarios futuros factibles de presentarse.

El capítulo III proporciona información de los tipos de usuarios del servicio hidráulico y de la situación general que guardan los organismos operadores del sistema hidráulico en el país; también ofrece información acerca del Programa de Devolución de Derechos (PRODDER) y del Programa para la Modernización de Prestadores del Servicio de Agua y Saneamiento (PROMAGUA). Se introduce a los conceptos de auditorías del agua, su importancia y la metodología para su ejecución.

En el capítulo IV se ofrece una introducción al flujo de tuberías a presión, definición y características, también se presentan las ecuaciones de conservación básicas para el estudio del flujo en tuberías.



El capítulo V muestra la importancia de la medición de caudales y presenta información las diferentes tecnologías de medición que existen, sus principios de funcionamiento y principales características.

En el capítulo VI se presentan algunos casos de estudio de auditorías realizadas a diferentes megasuarios, para evaluar las condiciones de operación y desempeño de los medidores y los volúmenes de suministro.

Finalmente, en el capítulo VII se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.



## CAPITULO I ANTECEDENTES

El agua, dentro de sus particularidades, parece haber sido pensada como el líquido de la vida: es el mejor disolvente que existe, conduce los nutrientes a los seres vivos y regula la temperatura del medio ambiente e interior de los organismos. El agua es uno de los bienes más importantes del planeta y al que se tiene menos acceso, pues a pesar de que es el elemento más común no siempre se encuentra en el sitio requerido y con la pureza adecuada; el 97.93% del volumen total de agua existente en la Tierra lo constituye el agua salada, no apta para el consumo humano; 1.65% del agua dulce se encuentra en los glaciares; 0.016% en lagos y lagunas; la humedad del suelo tiene 0.005%, y el vapor atmosférico 0.001%; en los ríos encontramos 0.0001% y las zonas de interacción activa cuentan con 0.27%; así pues, resulta obvio que el porcentaje de agua apta para nuestro consumo es bajo. Aunado a lo anterior, es importante señalar que casi la mitad del agua dulce del planeta se encuentra en Canadá, Estados Unidos, Rusia y Brasil.

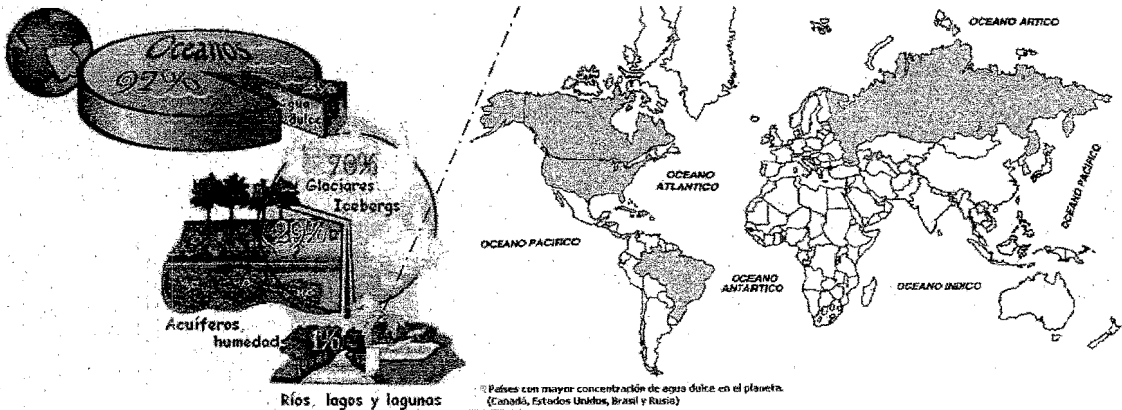


Figura 1.1. Distribución del agua dulce en el planeta.

Es por las propiedades del agua, en particular por su gran capacidad de disolver otras sustancias, que es tan fácil contaminarla y hacerla inservible para la vida, y



resulta paradójico pensar que el ser humano depende del agua para vivir y sin embargo es el principal causante de la inhabilitación de este recurso, por ignorancia o negligencia.

Lograr el satisfactorio abastecimiento del agua para los habitantes de la Ciudad de México ha constituido históricamente una ardua tarea que ha obligado a sus gobernantes en turno a mandar a ejecutar gigantescas obras hidráulicas cada vez más complejas y costosas, acompañadas de sistemas de potabilización y drenaje también cada vez de mayores proporciones.



Figura 1.2. La gran Ciudad de Tenochtitlán.

Desde la fundación de Tenochtitlán en 1325, el agua era distribuida por medio de canoas que pasaban a todos los calpullis, pero ante el crecimiento de la ciudad, la demanda aumentó y en 1426 el tercer emperador Chimalpopoca mandó a construir la primera gran obra hidráulica de la historia de la ciudad y para ello encomendó a Netzahualcóyotl, príncipe de Texcoco, la labor de construir un acueducto que trajera agua fresca de los manantiales de Chapultepec, un sistema de desalojamiento, así como un albarradón que contuviera las aguas saladas de las dulces y que al mismo tiempo evitara las inundaciones. Ese acueducto fue destruido parcialmente durante la Guerra de Conquista para privar a la ciudad de



agua potable y posteriormente sobrevivió a ella hasta 1536, cuando su caudal fue considerado como de "agua gruesa", por su alto contenido de carbonato de sodio. Esto constituyó la construcción del acueducto de Santa Fe, pueblo que en aquel entonces estaba rodeado de manantiales. En su traza renacentista coincidía con el de Chapultepec en lo que es ahora el Circuito Interior, después seguía por puente de Alvarado hasta la actual avenida Hidalgo hasta llegar a la fuente de Mariscala, detrás del Palacio de Bellas Artes justo en la Alameda, donde en aquel entonces estaba la orilla de la ciudad.

El acueducto de Santa Fe resolvió el abastecimiento de agua momentáneamente, ya que posteriormente se tuvo que recurrir a mayores caudales, en los primeros 100 años de la Colonia también se traía agua de los manantiales de Azcapotzalco, Cuajimalpa, Molino del Rey, Chapultepec, San Pablo y San Juan.

Durante los siglos XVII y XVIII los acueductos de arcos fueron la principal fuente de agua potable, además de que eran una de las características esenciales de la fisonomía de la entonces Ciudad de México. Actualmente, son pocos los restos de los acueductos que sobreviven, entre ellos se encuentran el de Arcos de Belén, en la actual Avenida Chapultepec, el cual se construyó de 1620 a 1790, se posaba sobre más de 900 arcos y llegaba hasta la actual fuente del Salto del Agua. Otro de los que se pueden apreciar hasta ahora es el de Guadalupe, el cual conducía las aguas del Río Tlalnepantla a la Villa de Guadalupe, San Bartolo, Ticumán, Tilmolulco, Zacatenco y Santa Isabel Tola. El Acueducto de Guadalupe medía 10 kilómetros y tenía 2 mil arcos.

Ante la lejanía de las fuentes, surgió el singular oficio de los aguadores, quienes realizaban la gran labor de entregar el agua en las casas en grandes cántaros a cambio de unas cuantas monedas, de esta forma las familias satisfacían sus necesidades para beber, cocinar, regar las plantas y lavar la ropa.

Hacia finales del siglo XIX luego de la demolición del acueducto de Santa Fe, comenzarían la nueva red de distribución y abastecimiento de agua potable en caños de barro cocido, plomo, fierro y piedra. Justo debajo de ese acueducto se construyó el primer abastecedor bajo tierra que comenzaría a operar el 30 de julio





de 1879. Fue así como se rompió una parte esencial del paisaje capitalino para darle paso a las nuevas vías subterráneas.

En 1906, don Porfirio Díaz ordenó la construcción de un moderno acueducto de concreto con dos metros de diámetro y 26 kilómetros de largo para traer agua de los manantiales de Xochimilco. La construcción de esta obra afectó enormemente a los agricultores de la región, ya que sin el abastecimiento de ese importante manantial, tuvieron que cambiar sus arraigadas actividades y precisaron emigrar a la Ciudad de México para adquirir empleos como albañiles, sirvientes o cargadores.

Así pues, históricamente ha sido necesario afectar las regiones externas para beneficiar el abastecimiento de la ciudad. El agua de Xochimilco no ha dejado de surtir a la ciudad y sus respiraderos aún se pueden apreciar en Tepepan y la avenida División del Norte

Las crecientes necesidades por la acelerada explosión demográfica, provocaban que una vez terminada una obra ya se estuviera pensando en la siguiente que lógicamente conllevaría mayores gastos por su complejidad. Fue así como se comenzó a optar por una de las medidas que si bien, no era fácil, sí se consideraba como la menos difícil.

Esta consistió en cavar en Nativitas el primer pozo profundo de la ciudad con la cifra récord para la época de nueve metros de profundidad, este pozo del cual brotaba el agua con gran presión inauguró una forma de abastecimiento que consistía en extraer el agua de los mantos acuíferos del subsuelo de la ciudad.

Para 1910 la Ciudad de México contaba 300 mil habitantes y ocupaba 28 kilómetros cuadrados, ya en 1953 la capital medía 240 kilómetros cuadrados y su población sumaba 3.5 millones de personas, sin duda para ese tiempo ni todos los manantiales aledaños a la ciudad hubieran alcanzado a satisfacer las necesidades primordiales de la capital.

Esta medida fomentó lo que es hasta ahora la principal fuente de abastecimiento en la ciudad, sin embargo la sobreexplotación de esos grandes yacimientos de agua filtrada por la existencia de los antiguos grandes lagos de lo que era la



cuenca de México y las lluvias en todas las estribaciones montañosas han provocado hasta ahora los inevitables hundimientos.

La excavación de pozos a profundidades de 12 a 45 metros fue la práctica más recurrida para saciar las necesidades de agua, casi cada industria o nuevo fraccionamiento cavaba su propio pozo. En 1930 eran 350 y llegaron a 700 para 1950. Ante la gravedad de los hundimientos que comenzaron a evidenciarse en los edificios más antiguos y por ende históricos, se determinó en 1942 el traer agua desde una cuenca no muy lejana.



Figura 1.3. Perforación de pozos.

Después de los estudios correspondientes se decidió por la cuenca del Río Lerma, una de las más ricas y amplias. Su cauce principal nace en Almoloya del Río en el Estado de México y culmina 515 kilómetros adelante, después de cruzar los estados de México, Michoacán, Guanajuato, y parte de Jalisco en el Lago de Chapala. Pero el traer el agua a una ciudad ubicada a 2,200 metros sobre el nivel del mar y encerrada con una muralla natural, tampoco resultaba algo sencillo.

Sin embargo después de 10 años de construcción, en 1951 se inauguró la obra que consta de un acueducto casi siempre subterráneo con 62 kilómetros de largo y dos metros de diámetro que dota a la ciudad de cinco metros cúbicos de agua por segundo. Pero esta gran obra no fue suficiente y la perforación de pozos se intensificó nuevamente.



En 1970 la Ciudad de México era ya una megalópolis de 640 kilómetros cuadrados y en ella vivían 10 millones de personas, para entonces ya se habían consolidado en sus alrededores nuevos municipios de inmensas proporciones como Naucalpan, Ecatepec, Tlalnepantla, Huixquilucan, Nezahualcóyotl y Chimalhuacán, lo que trajo como consecuencia menores extensiones naturales para la recarga del acuífero y lógicamente una mayor demanda de agua potable. Todas las fuentes acuíferas juntas eran ya insuficientes y eso llevó a tomar una vez más la decisión de traer el agua de sitios lejanos y con ello surgió la alternativa de la cuenca del Río Cutzamala, la cual se encuentra entre las sierras de Michoacán y la costa de Guerrero. Esta fue una obra ambiciosa, compleja y muy costosa que consta de un conjunto de presas llamadas: Villa Victoria, Valle de Bravo, Chilesdo y Colorines, que proporcionan una red de 350 kilómetros de acueductos de concreto de tres metros de diámetro que recorren 260 kilómetros de distancia entre la cuenca y la capital.

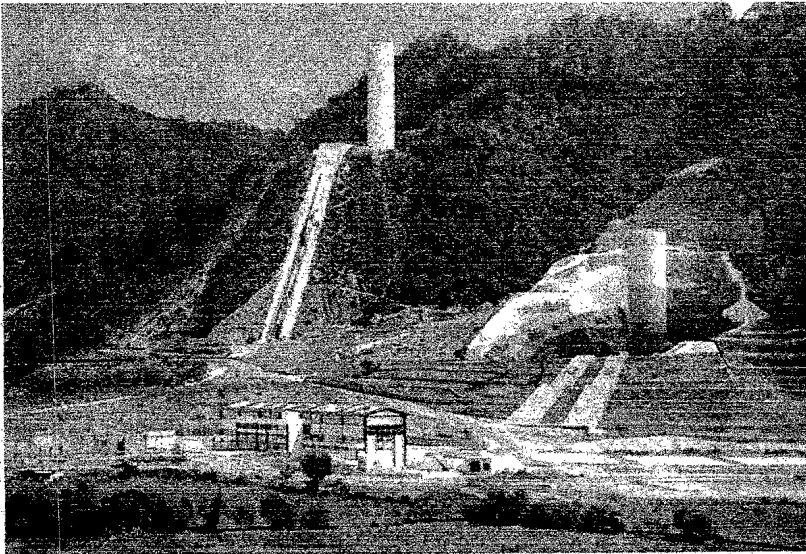


Figura 1.4. Sistema Cutzamala.

Para bombear esta agua desde su origen se utiliza la energía eléctrica como para iluminar diariamente la ciudad de Puebla con sus más de 4 millones y medio de



habitantes. En su trayecto existen plantas de bombeo para elevarla en donde es necesario, casi al final el agua llega a la planta potabilizadora de Berros a 2,700 metros sobre el nivel del mar en donde se recibe y purifica el caudal y se manda por gravedad a Huixquilucan a través de dos tubos de concreto y un gran túnel, para posteriormente llegar a los tanques de almacenamiento.

El Cutzamala constituyó uno de los más grandes avances, sin embargo, como siempre resultaron afectadas extensas zonas agrícolas en donde se desarrollaba la actividad de miles de campesinos y ganaderos.

Actualmente para poder subsistir, la Ciudad de México necesita diariamente un promedio de 35 a 37 metros cúbicos de agua por segundo. El Sistema Cutzamala, aporta poco más de nueve metros cúbicos, el Sistema Lerma arriba de cuatro, excepto en temporada de estiaje en donde se cancela el suministro a la capital; el gran resto es aportado por las antiguas fuentes ya mencionadas basadas en manantiales y pozos particulares ubicados en puntos estratégicos de la ciudad, los cuales alcanzan ya una profundidad de hasta 450 metros.

Toda esta agua proveniente de fuentes subterráneas y externas al valle, se transporta dentro del Distrito Federal por medio de 514 kilómetros de acueductos y líneas de conducción hacia 297 tanques de almacenamiento, para posteriormente hacerla llegar a las tomas de los usuarios a través de 910 kilómetros de red primaria y 11,900 kilómetros de redes de distribución. Cabe destacar que del total de las tomas el 98 por ciento son domiciliarias y sólo el dos por ciento es distribuida por medio de carros cisterna.

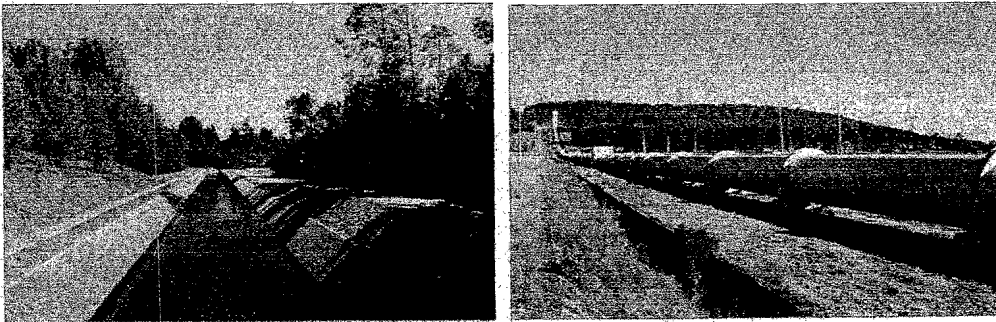


Figura 1.5. Acueductos y líneas de conducción.



Para el año 2010, es probable que la Ciudad de México tenga que utilizar hasta 43 metros cúbicos por segundo de este preciado líquido y con ello aumentarán las funciones para potabilizarla, tratarla y desalojarla, esa tarea que no se vislumbra sencilla, ya que requiere no solamente la construcción y mantenimiento de más y mejores sistemas hidráulicos para mantener satisfactoriamente el ciclo del agua que utilizamos en la Ciudad de México, sino que también requiere programas de aprovechamiento del agua, en donde se instruya a la población en general, principalmente a los niños de una nueva cultura del agua, que consiste primordialmente en saber utilizarla.

Dado lo anterior, podemos notar que la enorme presión que la actividad humana ejerce sobre la disponibilidad de este recurso exige de un gran esfuerzo para proveerlo en la cantidad y con la calidad adecuada, para poder disponer de él se requieren obras cuya infraestructura implica disponer de considerables cantidades de recursos humanos y económicos.

Actualmente el tema del agua constituye uno de los principales problemas a los que se enfrentan diversos países en el mundo.

En términos de distribución, frecuencia y calidad del agua existen diferencias muy serias. Actualmente, la Ciudad de México tiene un déficit de 3 metros cúbicos por segundo demanda que aumenta conforme avanza la mancha urbana; de los 8 millones de habitantes que hay en la capital (sin considerar los municipios conurbados), 92% sólo tienen que abrir la llave para tener agua, mientras que el 8% restante, que corresponde a un millón 180 mil personas reciben el suministro por tandeo cada tercer día o una vez por semana. Para mitigar este déficit y satisfacer la demanda, se han instrumentado programas de detección y supresión de pérdidas que ha disminuido el nivel de fugas de 37 a 30%.

El dotar de agua no es el único problema, los costos por traer el líquido a la capital son muy elevados, la capital del país recauda cada año 2 mil 500 millones de pesos por concepto de abastecimiento de agua potable, pero anualmente gasta en operación 8 mil millones de pesos. Sin embargo, el tema económico del agua no es algo que le interese mucho a los usuarios, la gente lo que desea es abrir su llave y obtener agua, y esto se ve reflejado directamente en la recaudación de



recursos pues en la Ciudad de México sólo se factura el 52% del agua suministrada y finalmente se cobra el 33% del total abastecido. Es por ello que el Gobierno Federal está estudiando la participación e inversión de la iniciativa privada en el servicio de distribución de agua potable, la búsqueda de inversiones para la distribución de agua obedece al rezago en infraestructura hidráulica y a la falta de recursos públicos para enfrentarlo.

Para poder satisfacer plenamente las necesidades de toda la población es apremiante forjar una cultura del agua bajo un marco ético que permita situar la naturaleza de los problemas acerca de la cantidad, de la calidad y de la responsabilidad que tenemos todos de hacer un uso racional de este recurso reduciendo nuestros hábitos de consumo e incrementando el uso de agua residual tratada; además es necesario hacer un ordenamiento del crecimiento urbano, ya que en 60 años la metrópoli saltó de 2 millones de habitantes a 17 millones y de 257 se extendió a mil 300 kilómetros cuadrados; también es importante la protección de los recursos naturales ya que tan solo en el Valle de México se extraen del subsuelo 58 metros cúbicos por segundo y se recargan 25, lo que significa que hay un nivel de sobreexplotación de 130%.

Asimismo es importante generar una estructura tarifaria en la cual las cuotas reflejen el costo real de los servicios hidráulicos manejando que paguen más quienes disponen de mayores recursos y se aplique un subsidio a la población con menores ingresos.

El objetivo que se persigue mediante el desarrollo de esta tesis es presentar una introducción a los conceptos de auditorías del agua, para dirigir auditorías del agua que constituyen una herramienta básica en la captación de recursos y en la recuperación de volúmenes de agua potable, y proveen los elementos suficientes para reestructurar tarifas de derechos considerando el costo que implica la disposición del agua y del drenaje en los inmuebles y la recaudación de derechos. Asimismo proporcionan elementos para cambiar la cultura actual sobre los usos del agua potable.



## CAPITULO II

### EL AGUA EN EL DESARROLLO SUSTENTABLE

El agua esencial para la vida, es un recurso finito; su aprovechamiento para distintos usos ha generado desequilibrios regionales en la disponibilidad los cuales se acentúan con el crecimiento de la demanda, por ello es necesario tomar medidas que permitan corregir el déficit en las regiones donde ya se presenta esta situación. Estas medidas requieren de fuertes inversiones en infraestructura y además requieren de una actitud solidaria de la sociedad para asegurar su efectividad.

La cantidad de agua disponible varía considerablemente de un país a otro y la población que se asienta en cada uno de ellos no necesariamente corresponde con esta disponibilidad. Un indicador ampliamente utilizado en el mundo para detectar posibles problemas de agua es el que se refiere a la disponibilidad natural media per cápita. De acuerdo con este indicador las regiones y países se clasifican de la siguiente manera:

Tabla 2.1. Disponibilidad natural del agua per cápita.

Disponibilidad natural media per cápita (m <sup>3</sup> /hab/año)			Clasificación
Menor	a	1,000	Extremadamente baja
1,001	a	2,000	Muy Baja
2,001	a	5,000	Baja
5,001	a	10,000	Media
10,001	a	20,000	Alta
Más	de	20,000	Muy Alta

Fuente: Shiklomanov, I. A. y Rodda, J. C., 2003.

En México, al igual que en otros países, ya se presentan condiciones de desequilibrio, las cuales tienen características muy peculiares debido a las diferencias climáticas y a la distribución de la población y de las actividades productivas, ya que las mayores demandas existen en las zonas de menor disponibilidad y paradójicamente hay zonas con una gran riqueza de recursos que no se aprovechan plenamente.



Para tener una mejor noción de lo anterior, basta con señalar que el 67% de la lluvia se presenta en tan solo cuatro meses del año, que dos terceras partes del territorio son áridas y semiáridas y en ellas se concentra la mayor parte de la población y actividad económica; en la zona norte, centro y noroeste se asienta el 77% de la población, se genera el 85% del PIB y sólo se tiene el 32% de la disponibilidad natural media.

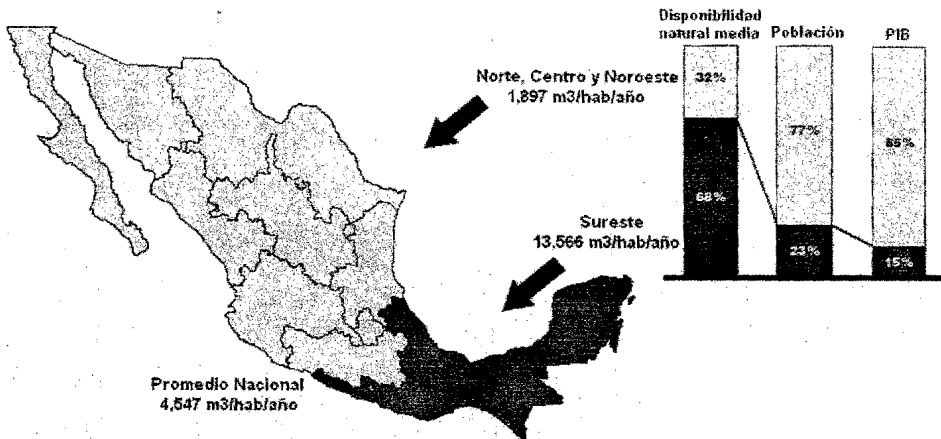


Figura 2.1. Contraste de disponibilidad natural media de agua.

## 2.1. Marco Legal

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su artículo 27 establece que la propiedad de las aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponde originalmente a la Nación, y sólo por excepción, cuando se demuestre que las aguas no tienen tal carácter, se considerarán de propiedad privada. Por tanto, las aguas nacionales son bienes del dominio público y en consecuencia, son inalienables, imprescriptibles e inembargables, en los términos de la Ley General de Bienes Nacionales.

La explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, según lo dispuesto en el artículo 27 constitucional, sólo podrá realizarse por los particulares mediante concesiones que otorgue el Ejecutivo Federal, de acuerdo con las reglas y condiciones estipuladas en las leyes, en cuyo otorgamiento se debe observar lo dispuesto en el artículo 28 constitucional, que establece tanto el principio de





legalidad para otorgar concesiones, como la facultad potestativa de concesionar en casos de interés general.

El marco jurídico que regula toda la materia de aguas en el país queda representado por los preceptos constitucionales enunciados, por las distintas leyes emanadas de la Constitución y por las disposiciones de observancia general relativas a la administración del recurso hidráulico, que fundamentalmente son:

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, artículos 27, 28 y 115.
- Ley de Aguas Nacionales, promulgada en diciembre de 1992, la cual es una ley reglamentada del artículo 27 constitucional en materia de aguas nacionales.
- Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, publicado en el Diario Oficial de la Federación en enero de 1994.
- Ley Federal de Derechos, promulgada en 1982.
- Leyes estatales en materia de agua potable y alcantarillado, promulgadas desde 1969 en las 31 entidades federativas y el Distrito Federal.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, promulgada en 1987.

La Ley de Aguas Nacionales sustenta la evolución del marco institucional y el desarrollo de los elementos de la política hidráulica, en un horizonte de mediano y largo plazos. De acuerdo con esta Ley, la Comisión Nacional del Agua (CNA) es la autoridad federal responsable de definir la política hidráulica del país y administrar las aguas nacionales, es un órgano normativo y de autoridad con calidad técnica y promotor de la participación de la sociedad y de los órdenes de gobierno en la administración del agua.

La Comisión Nacional del Agua (CNA) es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), creado el 16 de enero de 1989, cuya misión es administrar y preservar las aguas nacionales, con la participación de la sociedad, para lograr el uso sustentable del recurso.



## 2.2. Aspectos físicos

México se encuentra situado en el norte del Continente Americano, junto con Canadá y Estados Unidos de América; se localiza en el hemisferio occidental hacia el oeste del meridiano de Greenwich.

La extensión territorial del país es de 1'964,375 km<sup>2</sup>, con una superficie continental de 1'959,248 km<sup>2</sup> y una insular de 5,127 km<sup>2</sup>. Esta extensión lo ubica en el decimocuarto lugar entre los países del mundo con mayor territorio.

México colinda en su parte norte con los Estados Unidos de América, a lo largo de una frontera de 3,152 km y al sureste con Guatemala y Belice con una frontera conjunta de 1,149 km de extensión. La longitud de sus costas continentales es de 11,122 km, por lo cual ocupa el segundo lugar en América, después de Canadá.

Nuestro país se encuentra dominado por montañas y volcanes, existen grandes estructuras geológicas: la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre del Sur y el Eje Volcánico Transversal, las cuales dictan el curso de la mayoría de los ríos.

País montañoso por excelencia, México contiene formas geológicas jóvenes, caracterizadas por serranías abruptas y volcanes elevados, los cuales yacen sobre una corteza que asciende de norte a sur en la Meseta Central y alcanza elevaciones máximas en su conjunción con el Eje Neovolcánico.

La acentuada morfología origina que el país intercepte con sus cumbres una importante porción de los vientos húmedos que provienen de ambos océanos. El centro del país se encuentra bajo el Trópico de Cáncer (franja orbital de desiertos) y su porción sur pertenece al cinturón tropical de la Tierra. Esta condición aunada a su altura y a su forma triangular (el continente se adelgaza a 200 km entre dos mares en el Istmo de Tehuantepec) da origen a fuertes lluvias en el sur y el sureste. Es por ello que en esta región montañosa y lluviosa se desarrollan los ríos más caudalosos del país: Usumacinta, con 56 mil millones de metros cúbicos de escurrimiento medio anual; Papaloapan, 47 mil; Grijalva, 25 mil; Coatzacoalcos, 22 500; Balsas, 14 500; Pánuco, 12 mil; Hondo, 11 mil; Lerma-Santiago, 8 500; y Tecolutla, 5 500. Los cuatro principales ríos llevan al Golfo de México un total de



2.2 millones de litros de agua cada segundo. El Usumacinta contribuye con 900 mil, el Grijalva 700 mil, el Coatzacoalcos 400 mil y el Papaloapan con 200 mil.

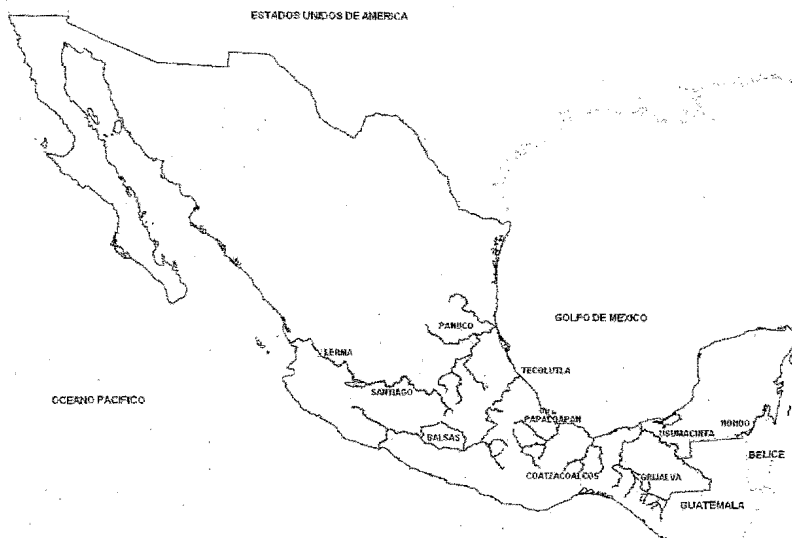


Figura 2.2. Principales ríos en México.

La geología de la corteza terrestre tiene un efecto decisivo en la existencia de depósitos subterráneos de agua y en sus mecanismos de recarga; las rocas calizas y las volcánicas facilitan la infiltración del agua superficial al subsuelo. Los acuíferos más importantes del país se localizan en el Eje Volcánico Transversal. Sin embargo, también se explotan acuíferos en calizas y arenas en zonas áridas, como sucede en los bolsones áridos al norte de la Meseta Central; además existen acuíferos en formaciones deltaicas, en las desembocaduras de los ríos.

En general, la calidad del agua procedente de acuíferos es superior a la del agua superficial, por esa razón y porque un acuífero además de fuente de abastecimiento es un almacenamiento natural, su explotación ha aumentado excesivamente con el tiempo.

Por lo que se refiere al clima, conforme a la clasificación del Instituto de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), éste presenta una gran diversidad;



según su temperatura media anual puede ser cálido o templado, ambos subdivididos en húmedo, subhúmedo, seco y muy seco.

El clima y sus variaciones afectan la disponibilidad del agua e impactan también a la mayoría de las actividades humanas, como la agricultura, la pesca, la generación de hidroelectricidad, la industria y las comunicaciones. Aproximadamente la mitad del territorio hacia el norte y noroeste tienen un clima seco a muy seco. En las mesetas del centro predomina un clima subhúmedo templado en un 20% de la superficie; en ellas se encuentran la mayoría de los grandes núcleos de población y una parte sustancial de la infraestructura. En el 30% remanente el clima es húmedo, cálido y templado.

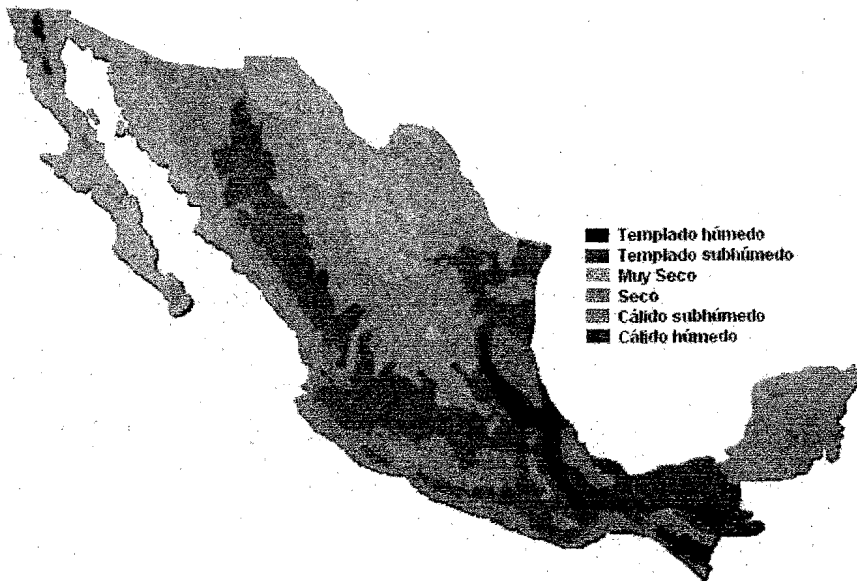


Figura 2.3. Distribución de climas en México.

### 2.3. Aspectos sociales

México es una República Federal formada por 31 Entidades Federativas y un Distrito Federal (D.F.), mismos que están constituidos por 2 446 municipios (incluye las 16 delegaciones políticas del D. F.). Presenta un desequilibrio estructural por las condiciones naturales y por la concentración de su población y



de sus actividades económicas. El 30% de la superficie del país ubicada en el norte, se genera tan sólo el 4% del escurrimiento, mientras que en el 20% del territorio, en el sureste y zonas costeras, se genera el 50%.

Existen 199,391 localidades en el país, repartidas de la siguiente forma según su tamaño:

No. de Localidades	No. de Habitantes
178	50,000 o más
2,863	entre 2,500 y 49,999
47,771	entre 100 y 2,499
148,579	menos de 100

Fuente: INEGI, 2000.

De 1950 al año 2000, la población del país casi se cuadruplicó, y pasó de ser predominantemente rural (57% rural) a predominantemente urbana (75% urbana). La tasa de crecimiento ha disminuido significativamente y se estima que en el año 2030 será de sólo el 0.4%. El crecimiento poblacional y el desarrollo económico han sido mayores en las zonas noroeste, noreste y centro, precisamente en las áreas con los problemas más severos de escasez de agua.

Tabla 2.2. Población y tasas de crecimiento.

Año	Población			Fecha del Censo	Tasa de crecimiento media anual (%)
	Total	Urbana	Rural		
(millones de habitantes)					
1950	25.79	11.00	14.79	6 junio	3.0
1960	34.93	17.71	17.22	8 junio	3.4
1970	48.23	28.31	19.92	28 enero	3.3
1980	66.85	44.30	22.55	4 junio	2.0
1990	81.25	57.96	23.29	12 marzo	2.0
1995	91.15	67.00	24.15	5 noviembre	1.6
2000	97.48	72.76	24.72	14 febrero	nd

Fuente: INEGI, 1996; INEGI, 2000.  
nd = dato no disponible.



Tabla 2.3. Proyecciones de población y tasas de crecimiento.

Año	Población			Tasa de crecimiento media anual (%)
	Total	Urbana	Rural	
	(millones de habitantes)			
2000	101.20	78.01	23.19	1.2
2001	102.43	79.10	23.33	1.2
2002	103.63	80.17	23.46	1.1
2003	104.78	81.21	23.57	1.1
2004	105.90	82.22	23.68	1.0
2005	106.99	83.21	23.78	1.0
2006	108.05	84.18	23.87	1.0
2007	109.09	85.14	23.95	0.9
2008	110.12	86.09	24.03	0.9
2009	111.12	87.03	24.09	0.9
2010	112.10	87.95	24.15	0.9
2020	121.04	96.53	24.51	0.6
2025	124.65	100.10	24.55	0.5
2030	127.46	103.02	24.44	0.4

Fuente: Integrado por la Subdirección General de Programación, CNA., con base en Conapo, 2003.

Notas: La población para el año 2000 no coincide con los datos del INEGI, ya que Conapo hace ajustes por subconteo. Las proyecciones de población fueron interpoladas por la CNA a diciembre de cada año.

## 2.4. Sistema hidrológico

La cantidad de agua disponible varía considerablemente de un país a otro y la población que se asienta en cada uno de ellos no necesariamente corresponde con esta disponibilidad. La disponibilidad natural de agua en el país presenta marcados contrastes ocasionados por la intensidad de la variable con la que ocurren las lluvias a lo largo de sus casi dos millones de kilómetros cuadrados y su ocurrencia durante el año.

### 2.4.1. Precipitación

En México la mayor parte de la precipitación se presenta en el verano (entre junio y septiembre), el resto del año la precipitación es escasa. A nivel nacional, el 67% de la precipitación se presenta entre junio y septiembre lo que dificulta su aprovechamiento dado su carácter torrencial en la generalidad de los casos.

La escasa precipitación, principalmente en la porción norte del país, causa periódicamente sequías catastróficas; en contraposición, su abundancia provocada por huracanes origina severos daños por inundaciones en amplias zonas del territorio. Estos daños se acentúan debido a la creciente deforestación,



lo que impide la retención de agua y provoca un gran arrastre de sólidos, que impactan mayormente a los asentamientos humanos ubicados en los cauces de los ríos.

Un indicador ampliamente utilizado en el mundo para detectar posibles problemas de agua es el que se refiere a la disponibilidad natural media per cápita. De acuerdo con este indicador las regiones y países se clasifican de la siguiente manera:

Tabla 2.4. Clasificación de la disponibilidad natural media de agua.

Disponibilidad natural media per cápita (m <sup>3</sup> /hab/año)	Clasificación
Menor a 1,000	Extremadamente baja
De 1,001 a 2,000	Muy baja
De 2,001 a 5,000	Baja
De 5,001 a 10,000	Media
De 10,001 a 20,000	Alta
Más de 20,000	Muy alta

Fuente: Shiklomanov, I. A. y Rodda, J. C., 2003.

El 73% de la lluvia se evapora, el escurrimiento anual medio es de 410 km<sup>3</sup> y la recarga natural es de 53 km<sup>3</sup>, la disponibilidad natural teórica per cápita en el territorio mexicano es de 4,900 m<sup>3</sup>/hab/año, cantidad 40% inferior a la de Estados Unidos y tan sólo el 14% de la disponibilidad per cápita de Canadá.

Por otra parte, el hecho de que la mayor parte de la población y de la actividad económica del país se concentran donde el agua es más escasa, ha propiciado una fuerte competencia por el agua, la contaminación del recurso y la sobreexplotación de acuíferos. En el país se utiliza el 15% del volumen de disponibilidad natural media de agua; sin embargo en el norte del país se utiliza más del 40% de la disponibilidad natural media, lo que se considera por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) como fuerte presión sobre el recurso hídrico.

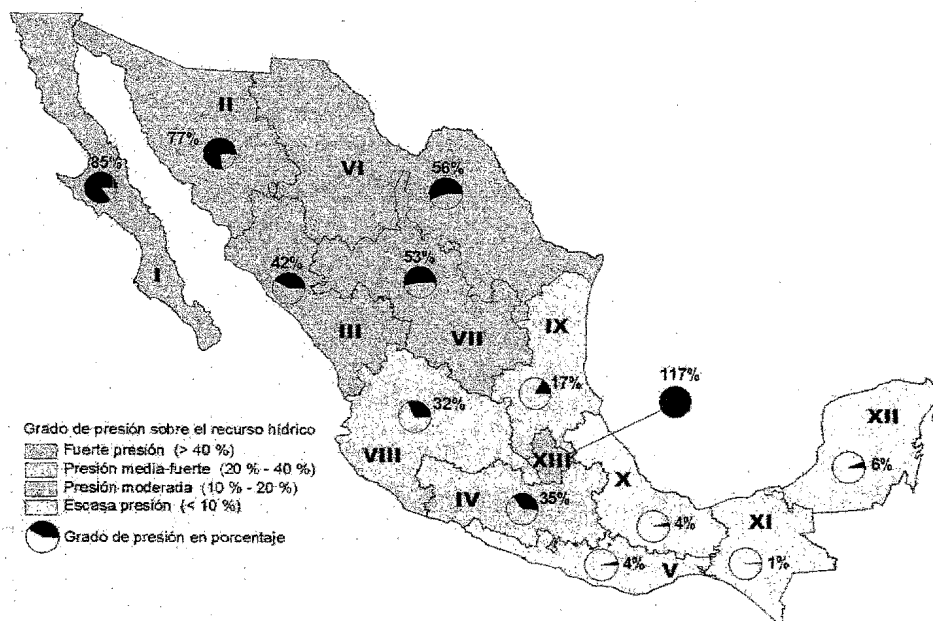


Figura 2.4. Grado de presión sobre el recurso hídrico.

#### 2.4.2. Aguas subterráneas

El 70% del agua que se suministra a las ciudades proviene del subsuelo, con lo que se abastecen aproximadamente 75 millones de personas (55 millones de los mayores centros urbanos y 20 millones del medio rural). El agua subterránea se ha convertido en un elemento indispensable en el suministro a los diferentes usuarios, bien sea en las zonas áridas, donde constituye la fuente de abastecimiento más importante, y a menudo única, o en las diferentes ciudades del territorio, las cuales han tenido que recurrir a ella para cubrir sus crecientes requerimientos de agua.

Actualmente 102 acuíferos se encuentran sobreexplotados, es decir, la extracción es mayor a su recarga. Desde 1975 ha aumentado sustancialmente el número de acuíferos sobreexplotados: 32 en 1975, 36 en 1981, 80 en 1985, 97 en 2001, y 102 en el 2003. De los acuíferos sobreexplotados se extrae aproximadamente el 57% del agua subterránea para todos los usos.





La sobreexplotación de los acuíferos ha generado diversas consecuencias, como el grave impacto ecológico irreversible, traducido en agotamiento de manantiales, desaparición de lagos y humedales, reducción de los caudales base de los ríos, eliminación de vegetación nativa y pérdida de ecosistemas. Debido a la sobreexplotación, la reserva de agua subterránea se está minando a un ritmo de cerca de 6 km<sup>3</sup> por año.

Asimismo, la sobreexplotación ha ocasionado que la calidad del agua de numerosos acuíferos se haya deteriorado, principalmente por intrusión salina y migración de agua fósil de mala calidad inducida por los efectos del bombeo, así como por la contaminación difusa generada en las ciudades y zonas agrícolas.

Además, existen 17 acuíferos que por su cercanía al mar presentan problemas de intrusión salina, éstos están ubicados en los estados de Baja California, Baja California Sur, Colima, Sonora y Veracruz.

Por otra parte, las zonas áridas, las cuencas cerradas y las costas tienen suelos naturalmente salinos. El riego puede agravar la salinidad cuando se emplea agua de mala calidad rica en minerales como el sodio, también un riego excesivo puede elevar el manto freático formando salitre en la superficie. Los terrenos con drenaje deficiente y/o alta evaporación son particularmente susceptibles.

Tabla 2.5. Relación de acuíferos con problemas de sobreexplotación, intrusión salina o salinización de suelos.

Región Administrativa	Acuífero	Sobreexplotación	Intrusión salina	Salinización de suelos
I. Península de Baja California	Guadalupe	X		
I. Península de Baja California	Ojos Negros	X		
I. Península de Baja California	Ensenada	X	X	
I. Península de Baja California	Maneadero	X	X	
I. Península de Baja California	Camalú		X	
I. Península de Baja California	Colonia Vicente Guerrero		X	
I. Península de Baja California	La Paz		X	
I. Península de Baja California	San Quintín	X	X	
I. Península de Baja California	Santo Domingo	X	X	
I. Península de Baja California	Los Planes	X	X	
I. Península de Baja California	Mulegé	X	X	
I. Península de Baja California	Laguna Salada			X
I. Península de Baja California	Mexicali			X



Tabla 2.5. Relación de acuíferos con problemas de sobreexplotación, intrusión salina o salinización de suelos (continuación).

Región Administrativa	Acuífero	Sobreexplotación	Intrusión salina	Salinización de suelos
II. Noroeste	Valle de San Luis Río Colorado	X		
II. Noroeste	Sonoyta – Puerto Peñasco	X	X	
II. Noroeste	Caborca	X	X	
II. Noroeste	Los Chirriones	X		
II. Noroeste	Busani	X		
II. Noroeste	Coyotillo	X		
II. Noroeste	Río Alisos	X		
II. Noroeste	Arivaipa	X		
II. Noroeste	Costa de Hermosillo	X	X	
II. Noroeste	Sahuaral	X		
II. Noroeste	Mesa del Serí – La Victoria	X		
II. Noroeste	Río Sonora	X		
II. Noroeste	Río Zanjón	X		
II. Noroeste	Río Bacoachi	X		
II. Noroeste	Valle de Guaymas	X	X	
II. Noroeste	San José de Guaymas	X	X	
II. Noroeste	Valle del Mayo	X		
III. Pacífico Norte	Valle de Canatlán	X		
IV. Balsas	Tepalcingo - Axochiapan	X		
IV. Balsas	Valle de Tecamachalco	X		
VI. Río Bravo	Cañón del Derramadero	X		
VI. Río Bravo	Monclova	X		
VI. Río Bravo	Paredón	X		
VI. Río Bravo	Saltillo – Ramos Arizpe	X		
VI. Río Bravo	Región Manzanera - Zapaliname	X		
VI. Río Bravo	Ascensión	X		
VI. Río Bravo	Baja Babicora	X		
VI. Río Bravo	Buenaventura	X		
VI. Río Bravo	Cuahuétemoc	X		
VI. Río Bravo	Casas Grandes	X		
VI. Río Bravo	El Sáuz- Encinillas	X		
VI. Río Bravo	Chihuahua - Sacramento	X		
VI. Río Bravo	Jiménez - Camargo	X		
VI. Río Bravo	Parral – Valle del Verano	X		
VI. Río Bravo	Tabaloapa – Aldama	X		
VI. Río Bravo	Campo Mina	X		
VI. Río Bravo	Cuatrociénegas - Ocampo			X
VI. Río Bravo	Laguna de Palomas			X
VI. Río Bravo	Bajo Río Bravo			X
VII. Cuencas Centrales del Norte	La Paila	X		X
VII. Cuencas Centrales del Norte	Principal – Región Lagunera	X		X
VII. Cuencas Centrales del Norte	Acatita			X
VII. Cuencas Centrales del Norte	Las Delicias			X
VII. Cuencas Centrales del Norte	Laguna del Rey – Sierra Mojada			X
VII. Cuencas Centrales del Norte	Ceballos	X		
VII. Cuencas Centrales del Norte	Oriente Aguahaval	X		
VII. Cuencas Centrales del Norte	Vicente Suárez	X		
VII. Cuencas Centrales del Norte	Navidad – Potosí - Raíces	X		
VII. Cuencas Centrales del Norte	Vanegas - Catorce	X		



Tabla 2.5. Relación de acuíferos con problemas de sobreexplotación, intrusión salina o salinización de suelos (continuación).

Región Administrativa	Acuífero	Sobreexplotación	Intrusión salina	Salinización de suelos
VII. Cuencas Centrales del Norte	El Barril	X		X
VII. Cuencas Centrales del Norte	Salinas de Hidalgo	X		X
VII. Cuencas Centrales del Norte	Cedral - Matehuala	X		
VII. Cuencas Centrales del Norte	Villa de Arista	X		
VII. Cuencas Centrales del Norte	Villa Hidalgo	X		
VII. Cuencas Centrales del Norte	San Luis Potosí	X		
VII. Cuencas Centrales del Norte	Jaral de Berrios - Villa de Reyes	X		
VII. Cuencas Centrales del Norte	Matehuala - Huizache	X		
VII. Cuencas Centrales del Norte	Benito Juárez	X		
VII. Cuencas Centrales del Norte	Aguanaval	X		
VII. Cuencas Centrales del Norte	Guadalupe de las Corrientes	X		
VII. Cuencas Centrales del Norte	Puerto Madero	X		
VII. Cuencas Centrales del Norte	Calera	X		
VII. Cuencas Centrales del Norte	Chupaderos	X		X
VII. Cuencas Centrales del Norte	La Blanca	X		
VII. Cuencas Centrales del Norte	Loreto	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Santiago - Salagua		X	
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Valle de Chicalote	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	El Llano	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Valle de Calvillo	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Laguna Seca	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Dr. Mora - San José Iturbide	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	San Miguel de Aliende	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Cuenca Alta del Río Laja	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Silao - Romita	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	La Muralla	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Valle de León	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Río Turbio	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Valle de Celaya	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Valle de la Cueva	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Valle de Acámbaro	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Salvatierra - Acámbaro	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Pénjamo - Abasolo	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	La Barca	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Encarnación	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Valle de Toluca	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Ixtlahuaca - Atlacomulco	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Morelia - Querétaro	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Pastor Ortiz - La Piedad	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Ciénega de Chapala	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Valle de Querétaro	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Valle de Amazcala	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Valle de Huimilpan	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Ojocaliente	X		
VIII. Lerma - Santiago - Pacífico	Valle de Aguascalientes	X		
IX. Golfo Norte	Huichapan - Tecozautla	X		
IX. Golfo Norte	Valle de Tulancingo	X		
IX. Golfo Norte	Valle de San Juan del Río	X		



Tabla 2.5. Relación de acuíferos con problemas de sobreexplotación, intrusión salina o salinización de suelos (continuación).

Región Administrativa	Acuífero	Sobreexplotación	Intrusión salina	Salinización de suelos
X. Golfo Centro	Costera de Veracruz		X	
X. Golfo Centro	Costera de Coatzacoalcos		X	
XIII. Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	Zona Metropolitana de la Ciudad de México	X		
XIII. Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	Chalco - Amecameca	X		
XIII. Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	Texcoco	X		
XIII. Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	Cuautitlán - Pachuca	X		

Fuente: Gerencia de Aguas Subterráneas. SGT. CNA.

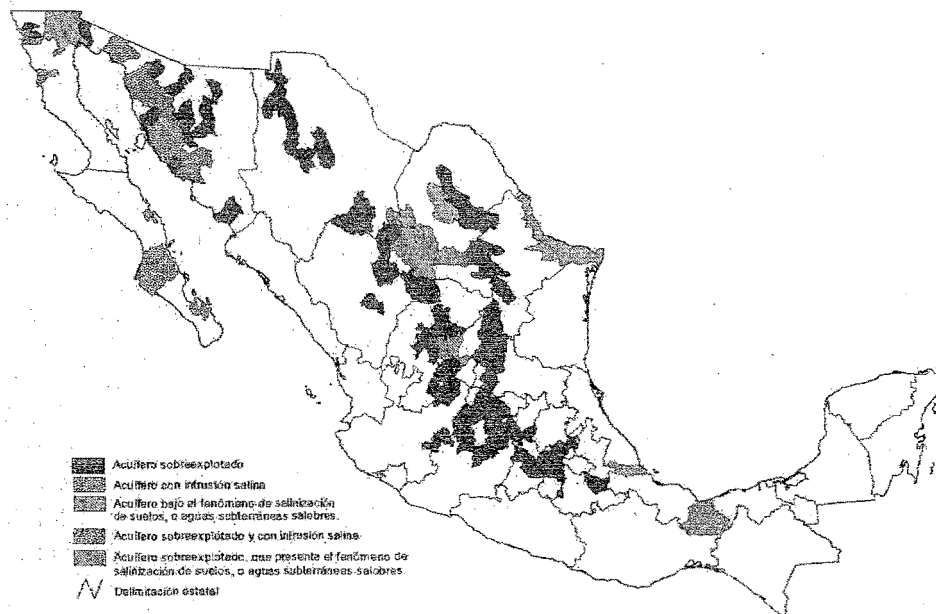


Figura 2.5. Acuíferos sobreexplotados, con intrusión salina, y/o bajo el fenómeno de salinización de suelos, o aguas subterráneas salobres.

Los niveles del agua subterránea se han abatido decenas de metros en amplias zonas de riego, en consecuencia, se ha incrementado el costo de extracción porque se requieren motores más potentes y que consumen más energía. Asimismo cada vez es mayor el número de regiones en donde la reserva almacenada en el subsuelo es la principal y en ocasiones la única fuente de agua,



por lo que los acuíferos deben ser considerados como un recurso patrimonial estratégico, que debe ser manejado y administrado de manera muy eficiente para asegurar la sustentabilidad del desarrollo del país.

### 2.4.3. Aguas superficiales

En los ríos del país escurren aproximadamente 399 km<sup>3</sup> de agua anualmente, incluyendo las importaciones de otros países y excluyendo las exportaciones. Aproximadamente el 87% de este escurrimiento se presenta en los 39 ríos principales que se indican a continuación y cuyas cuencas ocupan el 58% de la extensión territorial continental del país.

Tabla 2.6. Principales ríos de México.

No.	Río	Región Administrativa	Escurrimiento natural medio superficial (hm <sup>3</sup> )	Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )	Longitud del río (m)
<b>Ríos de la vertiente interior</b>					
1	Lerma	VIII	4,908	47,116	708
2	Nazas	VIII	1,999	57,101	600
3	Aguanaval	VIII	509	32,138	481
<b>Total</b>			<b>7,416</b>	<b>136,355</b>	<b>1,789</b>
<b>Ríos de la vertiente del Golfo de México</b>					
4	Grijalva – Usumacinta <sup>a</sup>	XI	115,536	83,553	1,521
5	Papaloapan	X	44,662	46,517	354
6	Coatzacoalcos	X	32,752	17,369	325
7	Pánuco	IX	19,087	84,956	510
8	Tonalá	X	11,389	5,679	82
9	Bravo <sup>a</sup>	VI	7,366	226,280	2,018 <sup>c</sup>
10	Tecolutla	X	6,885	7,903	375
11	Nautla	X	2,284	2,785	124
12	Antigua	X	2,193	2,827	139
13	Tuxpan	X	2,580	5,899	150
14	Soto La Marina	IX	2,086	21,183	416
15	Candelaria <sup>a</sup>	XII	2,032 <sup>b</sup>	13,790	150
16	Cazones	X	1,716	2,688	145
17	San Fernando	IX	876	17,744	400
<b>Total</b>			<b>251,444</b>	<b>539,173</b>	<b>6,709</b>



Tabla 2.6. Principales ríos de México (continuación).

No.	Río	Región Administrativa	Escorrentamiento natural medio superficial (hm <sup>3</sup> )	Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )	Longitud del río (m)
<b>Ríos de la vertiente del Pacífico</b>					
18	Balsas	IV	24,273	117,406	770
19	Santiago	VIII	11,611 <sup>b</sup>	76,416	562
20	Verde	V	6,083	18,812	342
21	Ometepec	V	6,102	6,922	115
22	El Fuerte	III	5,176	33,590	540
23	Papagayo	V	3,725	7,410	140
24	Yaqui	II	3,623	72,540	410
25	San Pedro	III	3,559 <sup>b</sup>	26,480	255
26	Culiacán	III	2,912	15,731	875
27	Suchiate <sup>a</sup>	XI	2,737	203	75
28	Ameca	VIII	2,020 <sup>b</sup>	12,214	205
29	Armería	VIII	2,015 <sup>b</sup>	9,795	240
30	San Lorenzo	III	1,885	8,919	315
31	Coahuayana	VIII	1,867 <sup>b</sup>	7,114	203
32	Colorado <sup>a</sup>	I	1,867	3,840	160
33	Sinaloa	III	1,829	12,260	400
34	Baluarte	III	1,751	5,094	142
35	Acaponeta	III	1,329	5,092	233
36	Piactla	III	1,288	11,473	220
37	Tehuantepec	V	950	10,090	240
38	Coatán <sup>a</sup>	XI	751	605	75
39	Huicila	VIII	591	1,194	50
<b>Total</b>			<b>87,944</b>	<b>463,200</b>	<b>6,567</b>

Fuente: Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos, SGT. CNA.

Nota: Los datos del escurrimiento natural medio superficial representan el valor medio anual de su registro histórico. El río Lerma se considera dentro de la vertiente interior porque desemboca en el Lago de Chapala.

<sup>a</sup> El escurrimiento natural medio superficial incluye importaciones de otros países. El área de la cuenca y la longitud se refiere sólo a la parte mexicana.

<sup>b</sup> Datos preliminares. En estos ríos aún no están concluidos los estudios al 100%.

<sup>c</sup> Longitud de frontera entre México y Estados Unidos de América.



Asimismo, México cuenta con un gran número de lagos, entre los cuales destacan los que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 2.7. Principales lagos de México.

Lago	Área de la cuenca propia (km <sup>2</sup> )	Capacidad de almacenamiento (hm <sup>3</sup> )	Región Administrativa	Entidad Federativa
Chapala	1,116	8,126	VIII	Jalisco y Michoacán
Cuitzeo	306	920*	VIII	Michoacán
Pátzcuaro	97	550*	VIII	Michoacán
Yuriria	80	188	VIII	Guanajuato
Catemaco	75	454	X	Veracruz
Tequesquitengo	8	160*	IV	Morelos
Nabor Carrillo	10	12*	XIII	México

Fuente: Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos. SGT. CNA. \* Los datos se refieren al volumen medio almacenado, todavía no se tienen estudios actualizados de su capacidad de almacenamiento.

## 2.5. Usos del agua

Se distinguen dos tipos de usos del agua:

- Usos fuera del cuerpo de agua o usos consuntivos, en los cuales el agua es transportada a su lugar de uso y la totalidad o parte de ella no regresa al cuerpo de agua.
- Usos en el cuerpo de agua o usos no-consuntivos, en los cuales el agua se utiliza en el mismo cuerpo de agua o con un desvío mínimo, como en el caso de las plantas hidroeléctricas.

No se sabe con exactitud cuanta agua se utiliza en el país; sin embargo, se cuenta con el Registro Público de Derechos de Agua (Repda) en el cual se tienen los volúmenes concesionados o asignados a los usuarios de aguas nacionales. Se infiere que los usuarios utilizan aproximadamente el mismo volumen que tienen concesionado o asignado y se considera que la gran mayoría de los usuarios ya se encuentran inscritos en el Repda.

En la siguiente tabla se indican los volúmenes que se tienen registrados para los diferentes usos en el Repda.



Tabla 2.8. Volúmenes de agua concesionados para usos fuera del cuerpo de agua.

Uso	Origen		Volumen total (km <sup>3</sup> anuales)	Porcentaje de extracción
	Superficial (km <sup>3</sup> anuales)	Subterráneo (km <sup>3</sup> anuales)		
Agropecuario <sup>a*</sup>	38.3	17.8	56.1	77
Abastecimiento público <sup>b</sup> (Incluye industria conectada a la red)	3.3	6.3	9.6	13
Industria autoabastecida <sup>c</sup> (incluye termoeléctricas)	5.3	1.6	6.9	10
<b>Total nacional</b>	<b>46.9</b>	<b>25.7</b>	<b>72.6</b>	<b>100</b>

Fuente: Gerencia del Registro Público de Derechos de Agua, SGAA, CNA. Cifras acumuladas a diciembre de 2002.

Notas: \* En el uso agropecuario se incluyen volúmenes de agua que se encuentran en proceso de regularización.

a Incluye los usos agrícola, pecuario, acuicultura, múltiples y otros.

b Incluye los usos público urbano y doméstico.

c Incluye los usos industria autoabastecida, agroindustria, servicios, comercio y termoeléctricas.

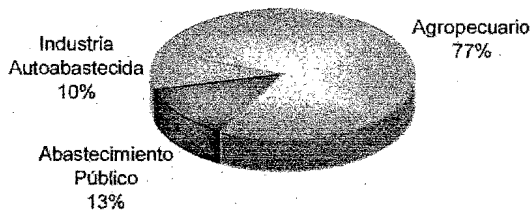


Figura 2.6. Volúmenes de agua concesionados para usos fuera del cuerpo de agua.

### 2.5.1. Uso agropecuario

En este rubro se incluyen los usos agrícola, pecuario, acuicultura, múltiples y otros, definidos en el artículo 2 del reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.

El uso agrícola se refiere a la utilización de agua nacional destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industrial; el uso pecuario es la utilización de agua nacional para la actividad consistente en la cría y engorda de ganado, aves de corral y animales, siempre que no comprendan la transformación industrial; el uso en acuicultura trata la utilización de agua nacional destinada al cultivo, reproducción y desarrollo de cualquier especie de la fauna y flora acuáticas; y los usos múltiples se refieren a la utilización de agua nacional





aprovechada en más de uno de los usos definidos en la Ley y el Reglamento de Aguas Nacionales.

Cabe aclarar que los usos pecuario, acuacultura, múltiples y otros, sólo representan el 6.3% del volumen de agua empleado en este rubro.

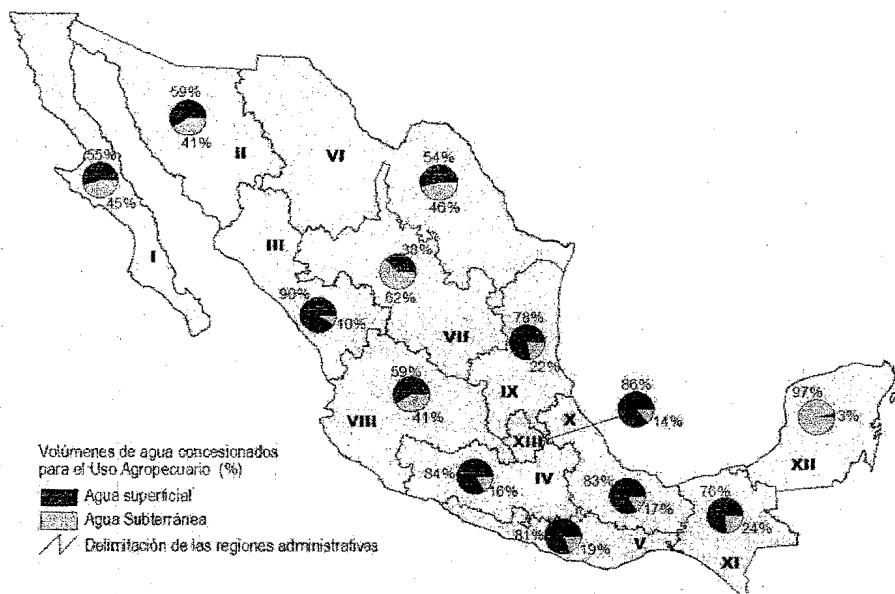


Figura 2.7. Volúmenes de agua concesionados para uso agropecuario.

### 2.5.2. Uso para abastecimiento público

En este rubro se incluyen los usos público urbano y doméstico definidos en el artículo 2 del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales.

El uso público urbano se refiere a la utilización de agua nacional para centros de población o asentamientos humanos, a través de la red municipal, y el uso doméstico es la utilización de agua nacional destinada al uso particular de las personas y del hogar, riego de sus jardines y de sus árboles de ornato, incluyendo el abrevadero de sus animales domésticos que no constituya una actividad lucrativa. El uso doméstico sólo representa el 0.4 % del volumen de agua empleado en este rubro.

En este rubro se incluyen todas las industrias y servicios que toman agua de las redes municipales de agua potable.

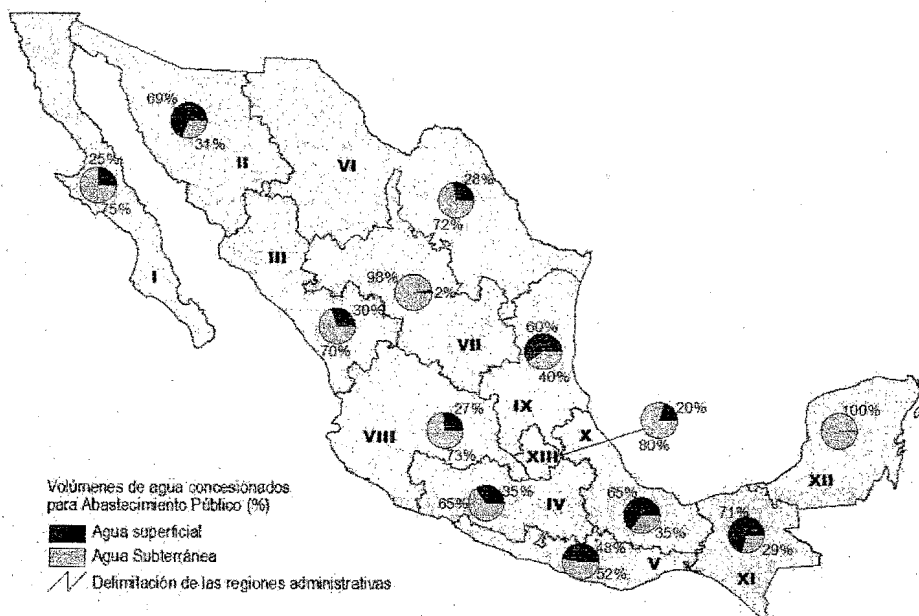


Figura 2.8. Volúmenes de agua concesionados para abastecimiento público.

### 2.5.3. Uso para industria autoabastecida

En este rubro se incluyen los usos industrial, agroindustria, servicios y generación de energía eléctrica (excepto hidroeléctricas) definidos conforme al Artículo 2 del Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, así como el uso en comercios definido en el Registro Público de Derechos de Agua.

El uso industrial se refiere a la utilización de agua nacional en fábricas o empresas que realicen extracción, conservación o transformación de materias primas o minerales, el acabado de productos o la elaboración de satisfactores, así como la que se utiliza en parques industriales, en calderas, en dispositivos para enfriamiento, lavado, baños y otros servicios dentro de la empresa, las salmueras que se utilizan para la extracción de cualquier tipo de sustancias y el agua aún en estado de vapor, que sea usada para la generación de energía eléctrica o para cualquier otro uso o aprovechamiento de transformación; el uso agroindustrial es la utilización de agua nacional para la actividad de transformación industrial de los



productos agrícolas y pecuarios; finalmente, el uso en servicios se refiere a la utilización de agua nacional para servicios distintos a los señalados anteriormente. El 86% de las extracciones las realizan 7 ramas que incluyen a las industrias azucarera, química, petróleo y petroquímica, celulosa y papel, hierro y acero, textil y alimentos y bebidas.

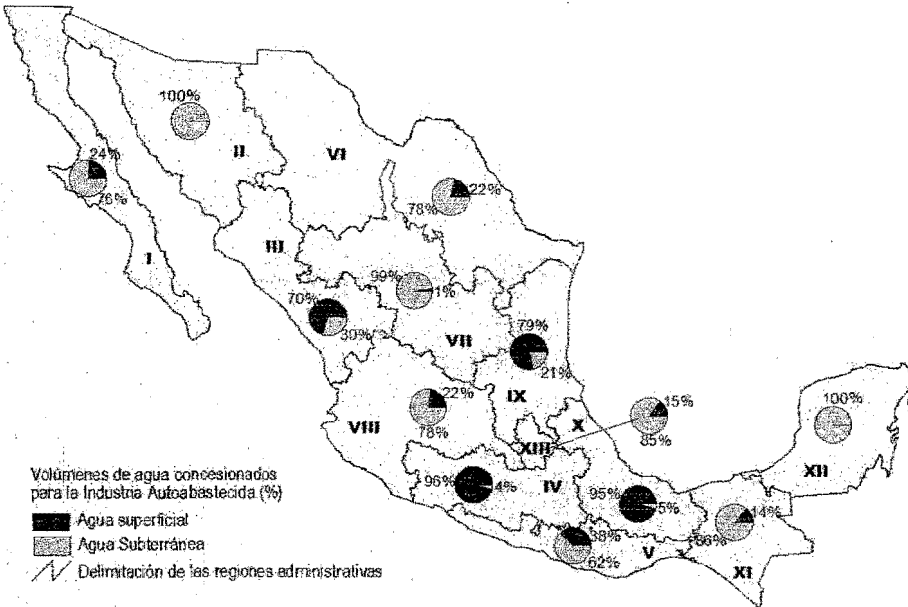


Figura 2.9. Volúmenes de agua concesionados para la industria autoabastecida.

#### 2.5.4. Uso en la generación de energía

En México se recurre a diversas fuentes de energía para generar electricidad, la utilización del agua para la generación de electricidad se considera de dos tipos: el uso de agua para enfriamiento en centrales termoeléctricas y el aprovechamiento de la energía que produce el agua mediante la construcción de presas de almacenamiento o derivación para centrales hidroeléctricas.

El primer uso es consuntivo; el agua se pierde por evaporación y la que retorna al medio natural normalmente tiene compuestos orgánicos en solución.



Por otra parte, en la generación hidroeléctrica se requieren grandes volúmenes de agua, pero prácticamente sin consumo alguno, salvo la evaporación en los embalses los cuales invariablemente tienen también el propósito de control de avenidas, irrigación y el suministro de agua a poblaciones.

En el año 2002 las centrales termoeléctricas generaron 153 642 GWh, lo que representó el 86% del total de energía eléctrica producida del país. En las plantas termoeléctricas existe una capacidad instalada de 28 072 MW, 75% del total del país.

Por su parte, las plantas hidroeléctricas emplearon 121 km<sup>3</sup> de agua con los que se generaron 24 862 GWh, lo que representó el 14% del total de la energía eléctrica producida en el país. En las plantas hidroeléctricas existe una capacidad instalada de 9 608 MW, 25% del total del país.

#### **2.5.5. Reutilización de agua residual**

El uso de aguas residuales urbanas tratadas para satisfacer las necesidades de las actividades que no requieren de calidad potable es una práctica que se ha desarrollado en los últimos años por la marcada escasez de agua de otras fuentes.

La reutilización del agua se constituye como una alternativa de gran relevancia en los estados áridos y semiáridos del país. Actualmente son aprovechadas en el uso agrícola para el riego de cultivos como el maíz, frijol, alfalfa, ajonjolí, algodón y cebada; en el uso industrial en enfriamiento; y en el uso público para riego de áreas verdes y llenado de lagos recreativos,

El uso de agua residual tratada en nuestro país tiene dos vertientes: una es la toma del agua residual tratada municipal y la otra se refiere a la reutilización del agua generada por la propia industria. La Comisión Federal de Electricidad, PEMEX y Altos Hornos de México utilizan agua residual tratada municipal; el agua residual industrial es utilizada principalmente dentro de los procesos, sistemas de enfriamiento y calderas en industrias termoeléctricas, de celulosa y papel, química, acerera y petroquímica. En el caso del reuso industrial, uno de los primeros antecedentes que se tiene en el país data del año de 1955 en la ciudad de



Monterrey, con el inicio de operaciones de la empresa Agua Industrial de Monterrey, la cual, desde esa fecha, distribuye agua de reuso a varias industrias de esa ciudad.

## 2.6. Infraestructura hidráulica

De acuerdo con el artículo 115 de la Constitución Política, la responsabilidad de prestar los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento recae en los municipios. Para realizar estas funciones se han creado organismos operadores, tanto municipales como estatales. Se estima que en el país existen alrededor de 1,200 organismos operadores, de los cuales 389 se consideran como los más importantes por atender a ciudades con más de 20 mil habitantes.

La CNA estima que la cobertura de agua potable a diciembre de 2002 fue del 89.2%; en lo relativo a alcantarillado, la cobertura fue de 77.0%.

La infraestructura hidráulica del país, está constituida por aproximadamente:

- 4,000 presas de almacenamiento, 667 están clasificadas como grandes presas de acuerdo con la definición de la ICOLD (International Commission on Large Dams). La capacidad de almacenamiento de las presas del país es de 150 km<sup>3</sup> de agua.
- 6.3 millones de hectáreas con riego por lo que el país se ubica en el sexto lugar a nivel mundial en este rubro.
- 2.6 millones de hectáreas con temporal tecnificado en las planicies tropicales y subtropicales del país, en donde existe exceso de humedad y constantes inundaciones.
- 439 plantas potabilizadoras en operación que aseguran la calidad del agua para el consumo humano que se suministra a las poblaciones.
- 1,077 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación
- 1,448 plantas de tratamiento de aguas residuales industriales en operación
- 120 plantas desaladoras en operación
- 3,000 km de acueductos que llevan agua a diversas ciudades y comunidades rurales del país, con una capacidad total de más de 112 m<sup>3</sup>/s.



Asimismo, se cuenta con uno de los sistemas de suministro de agua potable más grandes del mundo, el cual abastece a la Ciudad de México; transporta aproximadamente 480 hm<sup>3</sup> anualmente, venciendo un desnivel de 940 m. El sistema está integrado por 7 presas y 6 estaciones de bombeo con las características que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 2.9. Características de los elementos que componen el Sistema Cutzamala.

Elemento	Tipo	Capacidad	Elevación (msnm)
Tuxpan	Presa derivadora	5 hm <sup>3</sup>	1,751
El Bosque	Presa de almacenamiento	202 hm <sup>3</sup>	1,741
Ixtapan del Oro	Presa derivadora	0.5 hm <sup>3</sup>	1,650
Colorines	Presa derivadora	1.5 hm <sup>3</sup>	1,629
Valle de Bravo	Presa de almacenamiento	394 hm <sup>3</sup>	1,768
Villa Victoria	Presa de almacenamiento	186 hm <sup>3</sup>	2,545
Chilesdo	Presa derivadora	1.5 hm <sup>3</sup>	2,396
Planta de bombeo 1	Bombas	20 m <sup>3</sup> /s	1,600
Planta de bombeo 2	Bombas	29 m <sup>3</sup> /s	1,722
Planta de bombeo 3	Bombas	24 m <sup>3</sup> /s	1,833
Planta de bombeo 4	Bombas	24 m <sup>3</sup> /s	2,178
Planta de bombeo 5	Bombas	24 m <sup>3</sup> /s	2,497
Planta de bombeo 6	Bombas	5 m <sup>3</sup> /s	2,324
Planta Potabilizadora Los Berros	Planta Potabilizadora	24 m <sup>3</sup> /s	2,540

Fuente: Gerencia Regional de Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala. CNA.

## 2.7. Instrumentos de gestión

Con el objeto de administrar los usos del agua, la Ley de Aguas Nacionales establece que para utilizar las aguas nacionales es necesaria una concesión o una asignación, y para descargar las aguas residuales se requiere un permiso de descarga, ambos, expedidos por la CNA. Los títulos de concesión y asignación, así como los permisos de descarga se inscriben en el Registro Público de Derechos de Agua (Repda).

Asimismo en cuanto a recaudación se refiere, la Ley Federal de Derechos (LFD) establece el pago de derechos por el uso, explotación o aprovechamiento de aguas nacionales, por la descarga de aguas residuales, por el uso o goce de zona



federal y por la extracción de materiales pétreos, así como por los diversos trámites que se realizan. Así mismo, con base en la Ley de Ingresos de la Federación, se establece el pago de diversos aprovechamientos por la prestación de servicios, como la entrega de agua en bloque.

Cerca del 80% de la recaudación de la CNA corresponde al concepto de explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales. Aproximadamente el 61% de la recaudación de la CNA proviene de las regiones XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala, VIII Lerma-Santiago-Pacífico y VI Río Bravo.

Para el cobro de los derechos por explotación, uso o aprovechamiento de agua, la República Mexicana se encuentra dividida en nueve zonas de disponibilidad. La lista de municipios que pertenecen a cada zona de disponibilidad se encuentra en el Artículo 231 de la LFD.

### **2.7.1. Tarifas de agua potable, alcantarillado y saneamiento**

Las tarifas de agua potable son fijadas de diferente manera en cada municipio, dependiendo de lo que establece la legislación de cada entidad federativa. En algunas entidades federativas las tarifas son aprobadas por el congreso local de la entidad, mientras que en otras las aprueba el Órgano de Gobierno o Consejo Directivo del organismo operador de agua potable del municipio o localidad o de la Comisión Estatal de Aguas.

En general las tarifas son distintas para los usuarios domésticos que para los comercios e industrias y generalmente son progresivas, es decir, a mayor consumo de agua el precio por metro cúbico es mayor. A continuación se indica, para las principales ciudades del país, las tarifas por metro cúbico para uso doméstico con un consumo de 25 m<sup>3</sup>/mes, que se puede considerar como típico en México.



Tabla 2.10. Tarifas para uso doméstico en las principales ciudades del país, 2003  
(Tarifas para un consumo de 25 m<sup>3</sup>/mes)

Municipio o localidad	Tarifa para uso doméstico (pesos/m <sup>3</sup> )	Primer bloque tarifario		Organismos que aprueban las tarifas
		Rango (m <sup>3</sup> /mes)	Cuota base (pesos)	
La Paz	8.55	0 a 17	46.37	Junta de Gobierno
León	8.31	0 a 5	43.75	Consejo Directivo
Tijuana	7.52	0 a 5	32.48	Congreso Local
Aguascalientes	6.36	0 a 10	71.73	Consejo Directivo
Monterrey	5.55	0 a 0	22.50	Consejo de Administración
Cancún (Benito Juárez)	5.40	0 a 10	35.40	Consejo Directivo
Puebla	5.04	0 a 15	40.35	Congreso Local
Tlaxcala	4.58	0 a 15	52.71	Ayuntamiento
Chihuahua	4.37	0 a 10	54.53	Consejo Directivo
Querétaro	4.36	0 a 1	11.59	Consejo Directivo
Durango	4.09	0 a 10	28.39	Congreso Local
Mérida	3.60	0 a 10	19.00	Consejo Directivo
Hermosillo	3.59	0 a 10	25.27	Junta de Gobierno
Cuernavaca	3.38	0 a 60	84.60	Congreso Local
Guadalajara	3.24	0 a 17	31.44	Congreso Local
Toluca	2.98	0 a 12.5	23.17	Consejo Directivo
Chilpancingo	2.95	0 a 10	23.00	Consejo de Administración
San Luis Potosí	2.79	0 a 5	8.16	Junta de Gobierno
Mexicali	2.68	0 a 5	22.83	Congreso Local
Xalapa	2.67	0 a 10	18.78	Órgano de Gobierno
Distrito Federal	2.45	0 a 5	6.37	Asamblea Legislativa
Colima	1.83	0 a 15	21.00	Consejo de Administración
Morelia	1.18	0 a 15	17.40	Congreso Local
Campeche	1.04	Cuota fija	26.00	Junta de Gobierno
Villahermosa	0.78	Cuota fija	15.00	Congreso Local

Fuente: Estructuras tarifarias de los organismos operadores.

Notas: Las tarifas incluyen el servicio de drenaje y corresponden al cobro para el estrato social de menores ingresos, exceptuando a las ciudades de Monterrey en la cual se consideró para el cálculo la categoría urbana 2 y a Campeche en la cual se tomó el de Barrios.

Para el cálculo de la tarifa en las ciudades de León, Puebla y Cancún, se utilizaron los precios a enero de 2003, ya que éstos varían cada mes por estar indexados al Índice de Precios al Consumidor.

## 2.7.2. Normatividad

La Ley Federal sobre Metrología y Normalización establece que los productos y servicios deben contar con una norma reglamentaria de carácter obligatorio y cobertura nacional, denominada Norma Oficial Mexicana, cuando éstos puedan constituir un riesgo o peligro para la seguridad de las personas; la salud, incluso





animal o vegetal; el ambiente general y laboral; y la preservación de los recursos naturales.

En el sector hidráulico se cuentan con las siguientes normas.

**Normas Oficiales Mexicanas Ecológicas**, expedidas por el Instituto Nacional de Ecología y la Comisión Nacional del Agua para la prevención y control de la contaminación del agua. La nomenclatura de las normas cambió de ECOL a SEMARNAT de acuerdo con las modificaciones de nomenclaturas especificadas en el Diario Oficial de la Federación del 23 de abril de 2003.

- NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 6 de enero de 1997 y entró en vigor el día 7 de enero de 1997. Esta norma se complementa con la aclaración publicada en el mismo medio de difusión del día 30 de abril de 1997.
- NOM-002-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 3 de junio de 1998 y entró en vigor el día 4 de junio de 1998.
- NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 21 de septiembre de 1998 y entró en vigor el día 22 de septiembre de 1998.
- NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 15 de agosto de 2003 y entró en vigor el día 16 de agosto de 2003.

**Normas Oficiales Mexicanas del Sector Agua** expedidas por la Comisión Nacional del Agua a través de su Comité Consultivo Nacional de Normalización del Sector Agua, mediante las cuales ejerce las atribuciones que le confiere la Ley



de Aguas Nacionales y su Reglamento, como son aprovechar adecuadamente y proteger el recurso hídrico nacional.

Dichas normas establecen las disposiciones, las especificaciones y los métodos de prueba que permiten garantizar que los productos y servicios ofertados a los organismos operadores de sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento, cumplan con el objetivo de aprovechar, preservar en cantidad y calidad y manejar adecuada y eficientemente el agua. Las normas oficiales mexicanas en vigor son las siguientes:

- NOM-001-CNA-1995. Sistemas de alcantarillado sanitario - Especificaciones de hermeticidad. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 11 de octubre de 1996. Entró en vigor el 8 de febrero de 1997. Cumplió su periodo quinquenal el 8 de febrero de 2002. Norma vigente, actualmente en revisión.
- NOM-002-CNA-1995. Toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable - Especificaciones y métodos de prueba. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 14 de octubre de 1996. Entró en vigor el 12 de abril de 1997. Cumplió su periodo quinquenal el 12 de abril de 2002. Norma vigente, actualmente en revisión.
- NOM-003-CNA-1996. Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 3 de febrero de 1997. Entró en vigor el 4 de mayo de 1997. Cumplió su periodo quinquenal el 4 de mayo de 2002. Norma vigente, actualmente en revisión.
- NOM-004-CNA-1996. Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 8 de agosto de 1997. Entró en vigor el 3 de febrero de 1998. Cumplió su periodo quinquenal el 3 de febrero de 2003. Norma vigente, actualmente en revisión.
- NOM-005-CNA-1996. Fluxómetros - Especificaciones y métodos de prueba. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 25 de julio de 1997. Entró en vigor el 21 de enero de 1998. Cumplió su periodo quinquenal el 21 de enero de 2003. Norma vigente, actualmente en revisión.



- NOM-006-CNA-1997. Fosas sépticas prefabricadas - Especificaciones y métodos de prueba. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 29 de enero de 1999. Entró en vigor el 30 de enero de 1999. Cumplirá su periodo quinquenal el 30 de enero de 2004. Norma vigente, se ratificó.
- NOM-007-CNA-1997. Requisitos de seguridad para la construcción y operación de tanques para agua. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 1 de febrero de 1999. Entró en vigor el 1 de junio de 1999. Cumplirá su periodo quinquenal el 1 de junio de 2004. Norma vigente, se ratificó.
- NOM-008-CNA-1998. Regaderas empleadas en el aseo corporal - Especificaciones y métodos de prueba. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 25 de junio de 2001. Entró en vigor el 22 de diciembre de 2001.
- NOM-009-CNA-1998. Inodoros para uso sanitario. Especificaciones y métodos de prueba. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 2 de agosto de 2001. Entró en vigor el 30 de noviembre de 2001.
- NOM-010-CNA-1999. Válvula de admisión y válvula de descarga para tanque de inodoro. Especificaciones y métodos de prueba. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 2 de septiembre de 2003. Entrará en vigor el 29 de febrero de 2004.
- NOM-011-CNA-2000. Conservación del recurso agua. Establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 17 de abril de 2002. Entró en vigor el 17 de junio de 2002. Asimismo se encuentran en proyecto las siguientes normas:
  - PROY-NOM-012-CNA-2002. Requisitos generales de seguridad de presas. (Anteproyecto).
  - PROY-NOM-013-CNA-2001. Redes de distribución de agua potable. Especificaciones de hermeticidad y métodos de prueba.

**Normas Oficiales Mexicanas de la Secretaría de Salud** expedidas por la Secretaría de Salud en coordinación con la CNA y otras entidades de gobierno, para establecer límites permisibles en cuanto a sus características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas, con el fin de



asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor.

- NOM-127-SSA1-1994. (Modificación) Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 22 de noviembre de 2000 y entró en vigor el día 20 de febrero de 2001. (Originalmente se publicó el 18 de enero de 1996 y entró en vigor al siguiente día).
- NOM-179-SSA1-1998. Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por los sistemas de abastecimiento público; publicada el 24 de septiembre de 2001. Entró en vigor el día 24 de noviembre de 2001.
- NOM-012-SSA1-1993. Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano, públicos y privados; publicada el 12 de agosto de 1994. Entró en vigor el 13 de agosto de 1994.
- NOM-013-SSA1-1993. Requisitos sanitarios que debe cumplir la cisterna de un vehículo para el transporte y distribución de agua para uso y consumo humano. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 12 de agosto de 1994. Entró en vigor el 13 de agosto de 1994.
- NOM-014-SSA1-1993. Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento públicos y privados. Se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 12 de agosto de 1994. Entró en vigor el 13 de agosto de 1994.



## 2.8. Escenarios futuros

Uno de los aspectos más importantes que moldearán el futuro de México es el incremento de la población. De acuerdo con estimaciones de Conapo, entre 2003 y 2025 la población del país se incrementará en 19.9 millones de personas, el 95% de las cuales se asentará en localidades urbanas y prácticamente el 80% se asentará en la zona centro, norte y noroeste del país (regiones I, II, III, IV, VI, VII, VIII, IX y XIII).

Tabla 2.11. Proyecciones de población en México.

Año	Población urbana (millones de habitantes)	Población rural (millones de habitantes)	Población total (millones de habitantes)
1970	28.31	19.92	48.23
1980	44.30	22.55	66.85
1990	57.96	23.29	81.25
2000	78.01	23.19	101.20
2010	87.95	24.15	112.10
2020	96.53	24.51	121.04
2025	100.10	24.55	124.65

Fuente: Conapo, 2003.

Población en México de 1970 a 2025

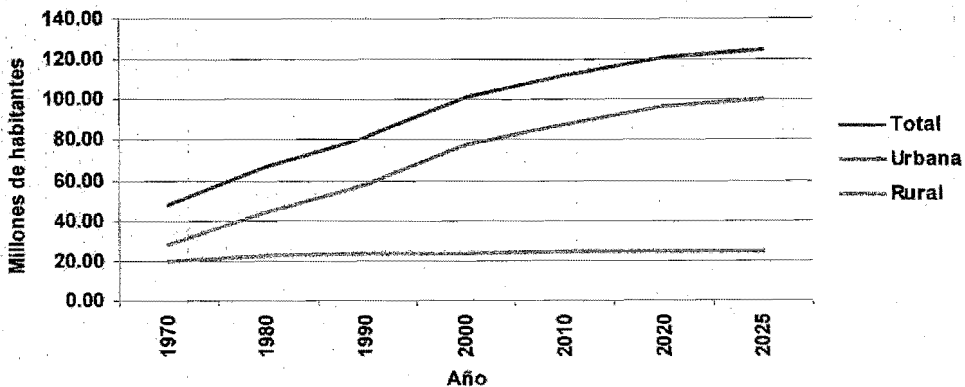


Figura 2.10. Tendencias de crecimiento al año 2025.



Tabla 2.12. Proyecciones de población por región administrativa.

Región Administrativa	Población 2003 (millones de habitantes)			Población 2025 (millones de habitantes)			Incremento de población
	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural	Total	
I. Península de Baja California	3,027	263	3,310	4,966	344	5,310	2,000
II. Noroeste	2,103	435	2,538	2,784	513	3,297	759
III. Pacífico Norte	2,624	1,476	4,100	2,957	1,545	4,502	402
IV. Balsas	7,572	3,085	10,657	8,953	3,085	12,038	1,381
V. Pacífico Sur	2,407	1,760	4,167	2,610	1,796	4,406	239
VI. Río Bravo	9,682	678	10,360	13,361	727	14,088	3,728
VII. Cuencas Centrales del Norte	2,979	975	3,954	3,352	908	4,260	306
VIII. Lerma Santiago Pacífico	16,029	4,194	20,223	19,169	4,184	23,353	3,130
IX. Golfo Norte	2,558	2,425	4,983	3,072	2,487	5,559	576
X. Golfo Centro	5,649	4,021	9,670	6,243	4,154	10,407	737
XI. Frontera Sur	3,359	3,035	6,404	4,489	3,508	7,997	1,593
XII. Península de Yucatán	2,905	649	3,554	4,376	748	5,124	1,570
XIII. Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	20,309	554	20,863	23,768	544	24,312	3,449
<b>Total nacional</b>	<b>81,213</b>	<b>23,570</b>	<b>104,783</b>	<b>100,100</b>	<b>24,553</b>	<b>124,653</b>	<b>19,870</b>

Fuente: Consejo Nacional de Población, 2003.

Nota: Los datos fueron interpolados a diciembre de cada año por la Gerencia de Planeación Hidráulica. Sistema Unificado de Información Básica del Agua (SUIBA)

El incremento de población hará que la disponibilidad natural media de agua por habitante a nivel nacional disminuya de 4,547 m<sup>3</sup>/hab/año en el 2003, a 3,822 m<sup>3</sup>/hab/año en el 2025.

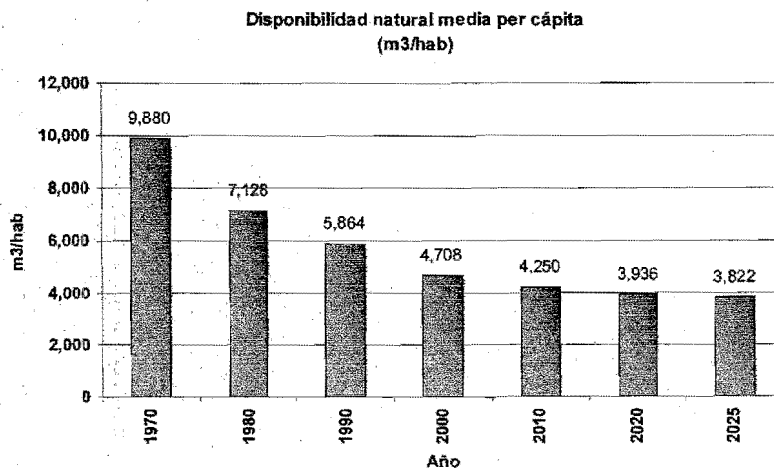


Figura 2.11. Disponibilidad natural media per cápita.



En algunas de las regiones del país la disponibilidad natural media de agua alcanzará niveles cercanos e incluso inferiores a los 1,000 m<sup>3</sup>/hab/año.

Tabla 2.13. Disponibilidad natural media per cápita en el 2003 y 2025.

Región Administrativa	Disponibilidad natural media per cápita			
	2003		2025	
	(m <sup>3</sup> /hab)	Clasificación	(m <sup>3</sup> /hab)	Clasificación
I. Península de Baja California	1,336	Muy baja	833	Extremadamente baja
II. Noroeste	3,236	Baja	2,491	Baja
III. Pacífico Norte	6,035	Media	5,496	Media
IV. Balsas	2,713	Baja	2,402	Baja
V. Pacífico Sur	7,963	Media	7,529	Media
VI. Río Bravo	1,324	Muy baja	974	Extremadamente baja
VII. Cuencas Centrales del Norte	1,729	Muy baja	1,605	Muy baja
VIII. Lerma Santiago Pacífico	1,962	Muy baja	1,699	Muy baja
IX. Golfo Norte	4,685	Baja	4,200	Baja
X. Golfo Centro	10,604	Alta	9,853	Media
XI. Frontera Sur	24,674	Muy alta	19,758	Alta
XII. Península de Yucatán	8,178	Media	5,671	Media
XIII. Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	182	Extremadamente baja	156	Extremadamente baja
<b>Total nacional</b>	<b>4,547</b>	<b>Baja</b>	<b>3,822</b>	<b>Baja</b>

Fuente: Conapo, 2003; Subdirección General Técnica. CNA.

Otro de los aspectos que moldeará el futuro del país será el crecimiento económico. Si el país creciera a un ritmo de 2% anual, en 22 años el PIB se incrementaría en un 50%, mientras que si el país creciera a un ritmo de 5% anual, el PIB casi se triplicaría. En ambos casos existiría un incremento de la actividad económica, y por lo tanto de la cantidad de agua utilizada.

Especial cuidado se tendrá que tener con el agua subterránea, ya que de los acuíferos se extraen cerca de 6 km<sup>3</sup> de agua al año, que no es renovable, y que ocasiona el hundimiento del terreno y que se tengan que hacer pozos cada vez más profundos para extraer el agua.



Debido a que la mayor parte del crecimiento económico y poblacional ocurrirá en las zonas en las que existen acuíferos sin disponibilidad o con poca disponibilidad, las demandas futuras de agua subterránea deberán disminuirse.

Tomando como base las fuerzas conductoras descritas anteriormente, se han estudiado dos posibles escenarios del agua para el año 2025, el tendencial y el sustentable.

En el escenario tendencial se considera que no hay cambios sustanciales en los patrones de consumo ni en los niveles de inversión actuales. En este caso la demanda de agua se incrementa considerablemente y los rezagos en materia de agua potable, alcantarillado y saneamiento se mantienen en niveles similares a los actuales.

En el escenario sustentable prácticamente se duplica el nivel de inversiones actual, se logra contener el crecimiento de la demanda de agua, se logra revertir la sobreexplotación de los acuíferos y se reducen los rezagos en materia de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

Las inversiones requeridas en el escenario sustentable no podrían ser cubiertas por la federación únicamente, por lo que implica una mayor participación del sector privado y de diversos mecanismos de financiamiento con la participación de los usuarios del agua.



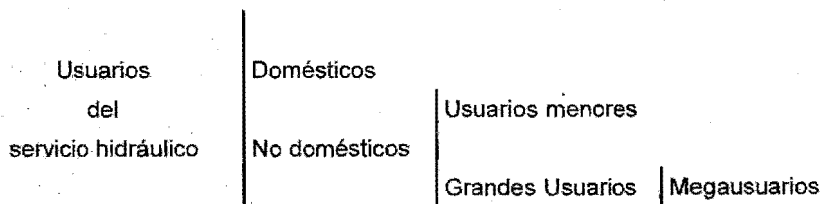


### CAPITULO III

## ESQUEMAS DE FINANCIAMIENTO DE LOS SERVICIOS HIDRAULICOS

Los usuarios de los servicios hidráulicos están divididos en dos grupos, los usuarios domésticos y los usuarios no domésticos. Los usuarios domésticos son aquellos que utilizan el agua potable para satisfacer las necesidades básicas en sus hogares tales como preparación de alimentos, aseo personal, limpieza del hogar, servicios sanitarios, etc. Por otra parte, los usuarios no domésticos son aquellos que utilizan el agua potable en inmuebles diferentes a los hogares en éstos existe una subdivisión adicional: usuarios menores (tiendas de micro comercio, farmacias, etc.) y grandes usuarios que son aquellos que utilizan al agua potable como materia prima o insumo, y tienen un consumo mensual mayor a 200 m<sup>3</sup> (baños públicos, hoteles, fábricas, centros deportivos, escuelas, etc.). Dentro del conjunto de grandes usuarios existe adicionalmente un subgrupo denominado megausuarios, que rebasan en mucho el consumo mensual de los grandes usuarios, y que tienen al menos una toma domiciliaria con diámetro mayor o igual a 51 mm y que llega a ser hasta de 254 mm.

Tabla 3.1. Organización de los usuarios del servicio hidráulico.



En la tabla anterior se presenta la organización de los usuarios del servicio hidráulico, las fuentes oficiales no tienen con precisión el porcentaje de derechos que representan los usuarios domésticos pero este oscila entre el 30 y 50% del total recaudado. Dentro de los grandes usuarios, los megausuarios representan un porcentaje superior al 50% de derechos y en cantidad solo representan el 14%.



El desarrollo de la electrónica observado en la computación y en las comunicaciones ha permitido aplicar de manera eficiente, práctica y económica los recursos de instrumentación y de control en la diversidad de procesos industriales. En nuestro país, industrias tales como la petrolera, eléctrica, farmacéutica, etc. tienen niveles de instrumentación y control de vanguardia mundial. Sin embargo, los sistemas hidráulicos presentan un atraso considerable de estas tecnologías en comparación con dichas industrias.

Las causas del estado tecnológico de control y de instrumentación que guardan los sistemas hidráulicos actualmente no se pueden precisar, sin embargo, dentro de las circunstancias que influyen podemos citar:

- El insumo o materia prima a medir, controlar y procesar en los sistemas hidráulicos son los distintos tipos de agua existentes: agua potable, agua residual tratada y agua negra. Estos tipos de aguas, como costo, no han representado un gran valor, y por ende, se desestima su instrumentación y control. En otras industrias los volúmenes de las materias primas y los productos resultantes deben cuidarse con atención ya que generan como secuela pérdidas económicas considerables.
- Los sistemas hidráulicos son sistemas que siempre operan subsidiados ya que al agua potable se le considera de manera errónea como un recurso natural renovable, cuando debiera de considerarse como un bien económico como lo es el petróleo, los alcoholes, la cebada, las maderas, etc. Entonces, es un servicio que se le subsidia a todos los usuarios (incluyendo a los grandes usuarios que utilizan al agua potable como materia prima o insumo) y a su vez el erario federal, estatal y municipal subsidia al sistema hidráulico.
- Considerando que es un servicio público, que en nuestro país es administrado directamente por el gobierno, el objetivo básico durante muchos años ha sido proveer el servicio a toda la población, incluyendo aquellos asentamientos suburbanos no contemplados en la planeación del servicio hidráulico y asentados en sitios que requieren diseños de alta tecnología y de grandes inversiones. Con esta prioridad, los sistemas hidráulicos desarrollaron alta



tecnología nacional hidráulica, estructural, geotécnica y electromecánica y se asentaron las bases técnicas disponibles para resolver cualquier problemática que se presentare. Sin embargo, se descuidó la eficiencia y la eficacia de la administración del servicio y la solución a los problemas hidráulicos depende de la disponibilidad económica de los erarios.

Conscientes las autoridades gubernamentales sobre la problemática que se tiene en los servicios hidráulicos, en Noviembre de 1992 establecen como Ley reglamentaria del artículo 27 Constitucional en materia de aguas nacionales, la Ley de Aguas Nacionales que viene a sustituir a la Ley Federal de Aguas. Con este cambio de ley se pretende dar mayor autonomía a los municipios del país para que puedan, de manera más eficiente y eficaz, administrar, operar, mantener, conservar, rehabilitar, ampliar y mejorar los recursos Hidráulicos y los servicios que con ellos se relacionan (agua potable, drenaje y saneamiento), en sus correspondientes jurisdicciones. Para tal fin han sido creados Organismos Descentralizados Operadores de los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.

Ante esta situación los organismos operadores requieren incrementar la eficiencia y la eficacia de la administración de los servicios hidráulicos, desgraciadamente hasta ahora los resultados obtenidos no han sido del todo alentadores ni favorables. En diversas ocasiones se han realizado estudios y proyectos, meramente técnicos, los cuales se enfocan totalmente a la solución de problemas de abasto y de ampliación de la cobertura de los servicios hidráulicos, pero ninguno analiza la problemática económica que representa la realización de los mismos, porque es muy cierto que soluciones y alternativas técnicas para resolver el problema del agua existen, pero no hay dinero para construir, operar y mantener infraestructuras de tales magnitudes dado que en nuestro país los sistemas hidráulicos son administrados directamente por el gobierno, el cual solamente se ocupa de proveer del servicio a toda la población, descuidando la eficiencia y eficacia de la administración de los mismos; si además aunamos la baja disposición de pago de los usuarios, la rigidez en los esquemas de autorización de



tarifas y, en algunos casos, el bajo nivel tarifario, es lógico que los organismos operadores de agua en el país, presenten deficiencias en el cumplimiento de sus objetivos.

Con objeto de responder a la problemática presente en los organismos operadores del país, la Comisión Nacional del Agua ha diseñado programas de apoyo como el PRODDER o Programa de Devolución de Derechos. Dicho programa tiene como objetivo coadyuvar a la realización de acciones de mejoramiento de eficiencia y de infraestructura de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales en municipios, mediante la devolución a los prestadores de los servicios de agua potable y saneamiento de los ingresos federales que se obtengan por la recaudación de los derechos por la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales. El programa está dirigido a aquellos prestadores del servicio, que habiendo cubierto los derechos federales por el uso o aprovechamiento de aguas nacionales, por servicio público urbano, con poblaciones mayores a 2,500 habitantes, soliciten su adhesión, presentando para ello un Programa de Acciones, donde se comprometan a invertir junto con los recursos federales devueltos, al menos otra cantidad igual.

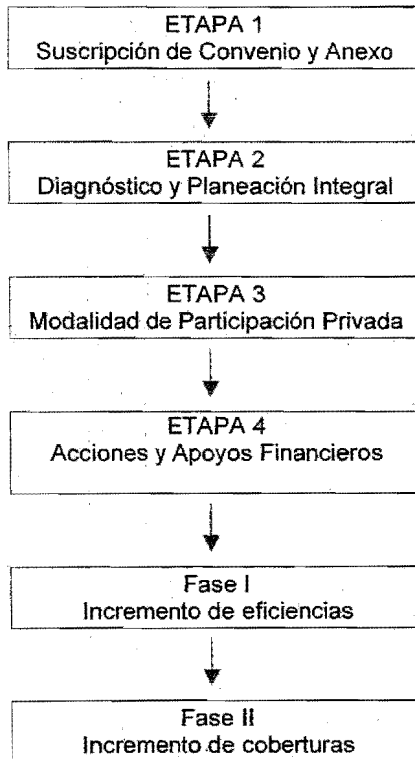
De igual manera CNA y Banobras diseñaron el Programa para la Modernización de Prestadores del Servicio de Agua y Saneamiento (PROMAGUA), el cual fue analizado y elaborado con la participación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

El PROMAGUA es un programa que está dirigido a apoyar preferentemente a los prestadores del servicio de agua y saneamiento que atienden localidades de 50,000 habitantes o más, así como a un conjunto de localidades que sean atendidas por organismos operadores intermunicipales; pretende funcionar como una fuente adicional de recursos, condicionado a un esquema de cambio estructural, para fomentar la consolidación de los organismos operadores de agua; impulsar su eficiencia física y comercial; facilitar el acceso a tecnología de punta; fomentar que se alcance la autosuficiencia y promover el cuidado del medio ambiente con proyectos de saneamiento, preferentemente ligados al tratamiento y reuso de aguas residuales; así como fomentar una nueva cultura de cuidado y uso



racional del agua que considere a este elemento como un recurso vital y escaso. Este programa tiene la característica de que la federación apoya con recursos sin recuperación, a fin de evitar impactos tarifarios que pudieran repercutir en los usuarios antes de mejorar la eficiencia de los sistemas.

En el siguiente esquema se pueden observar las etapas en que se divide el PROMAGUA.



#### **Etapa 1. Convenio de participación y anexo de adhesión**

• Suscrito por el Gobierno Estatal – Banobras – FINFRA – CNA – Comisión Estatal de Aguas. En el anexo de adhesión se sustituye la participación del Estado por el Municipio.



- Continuidad en la administración y seguimientos de programas. Cumplimiento de metas e índices de gestión, profesionalización de niveles gerenciales.
- Promoción de la cultura del agua.
- Modificación del marco legal y adecuación tarifaria. Seguridad jurídica a inversionistas, autoridades y usuarios. Autonomía tarifaria considerando costos de operación, mantenimiento y desarrollo.

## **Etapa 2. Estudio de diagnóstico y planeación integral.**

Las inversiones son un elemento indispensable en el sector del agua potable, alcantarillado y saneamiento, por lo que resulta conveniente el análisis y la evaluación de alternativas para que la inversión pública, y en su caso, los recursos privados, se destinen hacia aquellas acciones que cuenten con factibilidad técnica y rentabilidad financiera y hacia aquellas acciones que permitan incrementar la calidad de los servicios y eficientar la operación de los sistemas.

Para que los organismos puedan ser apoyados con estos recursos es necesario que cuenten con un Estudio de Diagnóstico y Planeación Integral, que consiste en un análisis de las condiciones actuales de los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento, que contendrá la definición y priorización de las acciones que se requieran para incrementar las eficiencias físicas y comercial, así como las coberturas de los servicios públicos en el corto, mediano y largo plazo.

Esta etapa se resume de la siguiente manera:

Objetivo:

- Definir condiciones actuales del sistema.
- Jerarquización de acciones.

Resultados:

- Programa de inversiones para incrementar eficiencias y coberturas.
- Definir la modalidad de participación del sector privado.

## **Etapa 3. Modalidades de participación del sector privado.**

Para propiciar un mayor desarrollo en el sector y ayudar a resolver la problemática que presentan los organismos operadores de agua, se hace conveniente la



participación del sector privado para aprovechar, entre otras, su experiencia técnica, acceder a tecnología de punta y utilizar su solvencia financiera.

La determinación del nivel de participación será en base al nivel de eficiencia de los organismos operadores, nivel de cobertura y sus requerimientos de inversión. De acuerdo a lo anterior, el sector privado podrá participar en las siguientes modalidades:

Contrato de prestación de servicios parcial. La empresa privada solo se responsabiliza de la operación y mantenimiento parcial del sistema.

Contrato de prestación de servicios integral. Responsabilidad total de la empresa privada para administrar, operar y dar mantenimiento al sistema.

Título de concesión. Contrato de prestación de servicios integral con responsabilidad de la empresa privada de invertir para ampliar coberturas.

Empresa mixta. El Organismo Operador y la empresa privada constituyen una nueva empresa para la prestación de los servicios.

#### **Etapas 4. Acciones y apoyos financieros.**

##### **Fase I. Incremento de eficiencias.**

Cualquier organismo operador estará en posibilidad de recibir los apoyos financieros del Programa tendientes a incrementar su eficiencia con la participación de empresas del sector privado. Dependiendo del nivel de eficiencia en que se encuentre originalmente el organismo y de la modalidad de participación privada, podrán allegarse de los recursos del programa de la siguiente manera:

Nivel de eficiencia global	Empresa mixta con participación pública mayoritaria	Contrato de prestación de servicios integral o empresa mixta con participación de FINFRA	Título de concesión o empresa mixta con participación mayoritaria
	Hasta	Hasta	Hasta
Menor a 30%	30%	40%	49%
De 30 a 40%	25%	30%	40%
Mayor a 40%	20%	25%	35%

Para asegurar que los recursos no van dirigidos a subsidiar las ineficiencias del organismo, ni subsidiar y fomentar el uso irracional del agua con tarifas



artificialmente bajas, los organismos operadores deberán obtener la autorización de una estructura tarifaria que cubra al menos los costos de operación y mantenimiento, así como establecer claramente en los contratos con el sector privado los compromisos de incremento de eficiencias.

En esta etapa se consideran principalmente las siguientes acciones:

Suministro e instalación de macromedición; suministro e instalación de micromedición; recuperación de caudales; sectorización de la red, detección y corrección de fugas; uso de accesorios ahorradores de agua, padrón o registro de usuarios; sistema comercial (facturación y cobranza); registro contable y sistemas de información.

## Fase II. Incremento de coberturas.

En esta fase, todos los proyectos de abastecimiento de agua potable y saneamiento deberán contar con un estudio de evaluación social con resultado positivo.

Se considera la nueva infraestructura o las obras requeridas para aumentar la cobertura de agua potable, alcantarillado y saneamiento tales como:

Perforación y equipamiento de pozos; plantas potabilizadoras; tanques de almacenamiento y regulación; acueductos; construcción y rehabilitación de plantas de tratamiento de aguas residuales y las obras necesarias para su recolección y disposición.

Los apoyos del programa para esta fase son los siguientes:

Tipo de inversión	Contrato de prestación de servicios parcial o empresa mixta con participación mayoritaria	Contrato de prestación de servicios integral o empresa mixta con participación de FINFRA	Título de concesión o empresa mixta con participación mayoritaria
	Hasta	Hasta	Hasta
Agua Potable	20%	25%	30%
Saneamiento	40%	45%	49%





### 3.1. Auditorías del agua

Las auditorías del agua son técnicas de instrumentación que permiten obtener la función de disposición final del agua, mediante esta función se realiza el balance hidráulico y se cuantifican los volúmenes de suministro, consumo, de desecho, de fugas y de tomas clandestinas (en el caso de auditorías del agua a usuarios del servicio o a organismos operadores). Las auditorías del agua se aplican a usuarios del servicio, a infraestructura hidráulica específica (tanques, líneas de conducción, colectores, plantas, etc.), a distritos hidráulicos, a colonias, ciudades, estados, países. Las auditorías también se aplican a medidores existentes o a puntos de medición para seleccionar un medidor permanente. En las auditorías de medidores se establecen diferentes rangos de gastos; para cada rango se calcula el volumen suministrado y en términos de costo/beneficio se selecciona el medidor con mayor precisión.

Por lo anterior, podemos resumir lo siguiente:

- Las auditorías del agua son un pilar importante en la captación de recursos y en la recuperación de volúmenes de agua potable, mediante la aplicación de tecnologías de instrumentación.
- A través de las auditorías del agua, se determinan los volúmenes suministrados, volúmenes consumidos y volúmenes producto de fugas y tomas clandestinas.
- Inducir la reducción de consumos de agua potable en los hábitos de consumo de los distintos tipos de usuarios.
- Un tipo particular de auditorías es la referida a los grandes usuarios que como se indica en el inicio del capítulo, son aquellos que utilizan al agua potable como materia prima o insumo, y tienen un consumo mensual mayor a  $200\text{m}^3$ .
- A través de la eficacia en la lectura de consumos y emisión de boletas, se incrementan los derechos del servicio hidráulico de los usuarios, principalmente de los grandes consumidores.
- Mediante la lectura precisa de consumos, se incrementan los derechos recaudados.



- Reducción de la relación costo/beneficio que se presenta en el mantenimiento y control de los grandes consumidores.

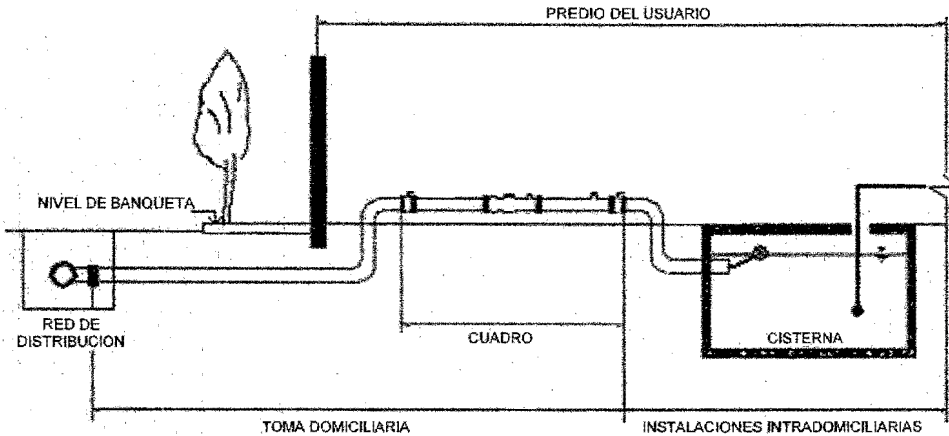


Figura 3.1. Esquema típico de suministro de agua potable a un gran usuario.

### 3.2. Metodología de auditorías del agua para grandes consumidores

En la tabla 3.2 se listan las actividades y las tareas a realizar por etapas requeridas para realizar una auditoría del agua; las etapas y sus actividades correspondientes, están diseñadas para ser operadas de manera independiente e, inclusive, en proyectos separados.

Tabla 3.2. Actividades y tareas a realizar por etapa.

Etapa	Actividades	Tareas
1. Análisis y recopilación de información.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Compilación y evaluación de información actual.</li> <li>2. Levantamiento del censo de servicios hidráulicos.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión y evaluación de los expedientes de megasusuarios.</li> <li>• Generación de estadísticas.</li> <li>• Diseño e impresión de formatos.</li> <li>• Formación de expedientes</li> <li>• Visitas a usuarios, entrega de carta de presentación.</li> <li>• Actualización del censo, incluye isométrico y fotografía.</li> <li>• Captura de censos de servicios hidráulicos.</li> <li>• Generación de estadísticas.</li> <li>• Atención a usuarios.</li> </ul>



Tabla 3.2. Actividades y tareas a realizar por etapa (continuación).

Etapa	Actividades	Tareas
2. Ingeniería.	3. Instrumentación de cuadros de diámetro menor. 4. Instrumentación de cuadros de diámetro mayor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instrumentación de 72 hrs cuadros de diámetro menor.</li> <li>Instrumentación de 72 hrs cuadros de diámetro mayor.</li> <li>Servicios de instrumentación adicionales.</li> <li>Especificación de medidor y cuadro de diámetro menor.</li> <li>Especificación de medidor y cuadro de diámetro mayor.</li> </ul>
3. Supervisión e instalación.	5. Suministro de medidores. 6. Verificación/Supervisión de medidor y cuadro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suministro de medidores de diámetro menor.</li> <li>Suministro de medidores de diámetro mayor.</li> <li>Verificación de medidor y cuadro de diámetro menor.</li> <li>Supervisión de cuadro de diámetro mayor.</li> <li>Captura de información.</li> </ul>
4. Implantación del sistema y capacitación.	7. Suministro de sistema de administración de lecturas y rutas. 8. Suministro de interrogadores portátiles. 9. Capacitación del sistema de administración de lecturas y rutas. 10. Capacitación de auditorías de medidores utilitarios. 11. Informe final.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suministro del software Connect.</li> <li>Suministro de interrogadores portátiles de lectura remota RF.</li> <li>Capacitación para el manejo del sistema Connect.</li> <li>Capacitación para la audición de medidores utilitarios.</li> <li>Implantación del sistema integral de medición utilitaria.</li> <li>Informe final.</li> </ul>

### Auditorías del agua.

La auditoría del agua se llevará al cabo a nivel del usuario, se evaluará la precisión del medidor utilitario y se obtendrá la función de disposición final del agua.

### Auditoría, con medidores maestros, de medidores utilitarios.

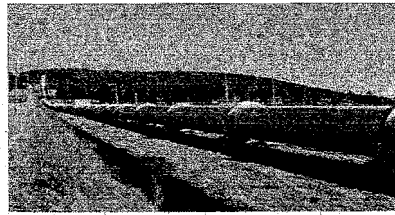
Las tomas domiciliarias de los megasusuarios serán instrumentadas, de manera paralela, incluyendo las tomas domiciliarias con diámetro menor o igual a 38 mm. Para el caso de las tomas domiciliarias con diámetro mayor o igual a 51 mm serán auditadas con un medidor ultrasónico con tecnología tiempo en tránsito, con registrador de datos y suministro de energía eléctrica a través de baterías portátiles. En las tomas domiciliarias de diámetro menor o igual a 38 mm, se utilizará al medidor utilitario como elemento primario y se instalará un registrador de datos con suministro de energía eléctrica a través de baterías portátiles. El periodo de instrumentación será de 72 horas.



### **Función de disposición final del agua.**

Con los resultados de la instrumentación realizada; con el análisis de la información histórica registrada de consumos, proveída por el Organismo Operador, y con la proyección de consumos según el giro comercial del usuario, se obtendrá la función de disposición final del agua. Para este resultado se cuantificarán los distintos volúmenes presentados en las instalaciones del usuario: volumen de abastecimiento, volumen de consumo real de insumos o materias primas, volumen de descarga, volumen proyectado de fugas y volumen proyectado no cuantificado (tomas clandestinas).

#### SUMINISTRO DE AGUA



#### CONSUMOS

#### FUGAS Y TOMAS CLANDESTINAS

#### AGUA RESIDUAL

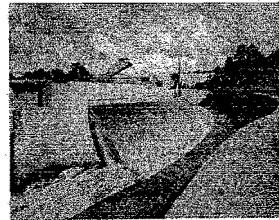
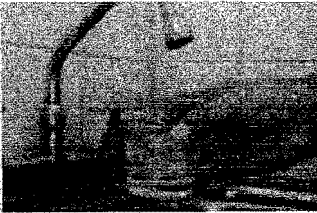


Figura 3.2. Función de disposición final del agua.

### **Metodología de trabajo.**

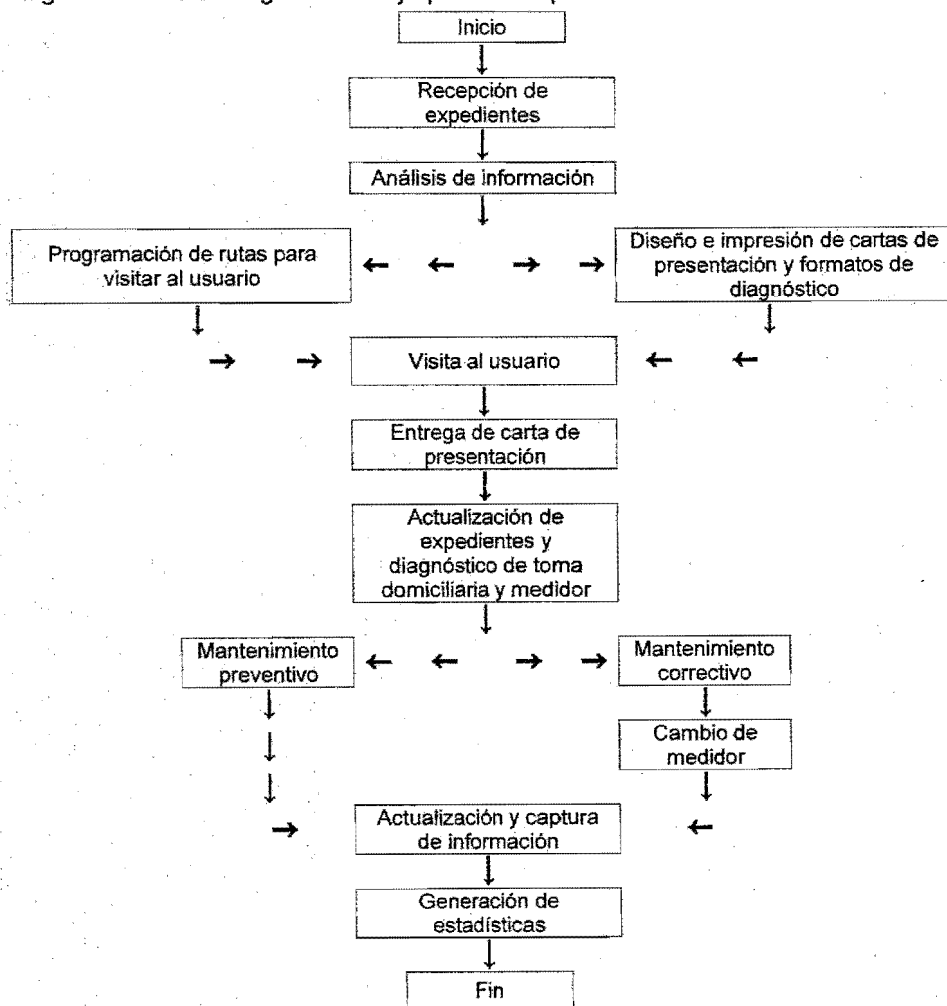
#### **Etapas 1: Análisis y recopilación de información.**

En esta etapa, el Organismo Operador entrega los expedientes de las tomas domiciliarias de los usuarios que serán auditados; se revisa el estado que guardan los expedientes y se analiza su información, se programa en ruta la visita a los usuarios, se imprime una carta de presentación y se preparan los formatos de



diagnóstico; se visita a los usuarios, se entregan las cartas de presentación y, se actualizan los expedientes de los usuarios, se llenan los formatos de diagnóstico de toma domiciliaria y medidor; se captura la información actualizada de los usuarios, de los medidores y de las tomas domiciliarias; se da el mantenimiento a los medidores y a las tomas domiciliarias; en caso de requerirse, se da mantenimiento correctivo o se cambia el medidor; y se actualiza la información del medidor, observar diagrama 1.

Diagrama 1. Metodología de trabajo para la etapa 1.





## **Etapas 2: Ingeniería.**

La premisa más importante para administrar eficientemente un sistema, es llevar un control exacto de la que se está produciendo, es por ello que esta es la etapa más importante del proyecto. En esta etapa se obtiene el panorama del estado real que guarda el sistema hidráulico del Organismo Operador, con las instrumentaciones realizadas a las diferentes tomas de los usuarios, se cuantifican de manera precisa los volúmenes de suministro, consumo, de desecho, de fugas y de tomas clandestinas, mediante el análisis de estos datos se pueden implementar las medidas necesarias para incrementar la eficacia en la medición del agua que se suministra a los usuarios, con lo cual se incrementan los derechos recaudados, y se asientan las bases para que el Organismo Operador sea autosuficiente.

Primero se diseñan e imprimen los formatos de instrumentación, a continuación, de manera paralela, se instrumentan todas las tomas domiciliarias existentes en el predio del usuario, incluyendo las tomas con diámetro entre 13 y 38 mm; concluidas las 72 horas de instrumentación se descarga la información en la estación de trabajo.

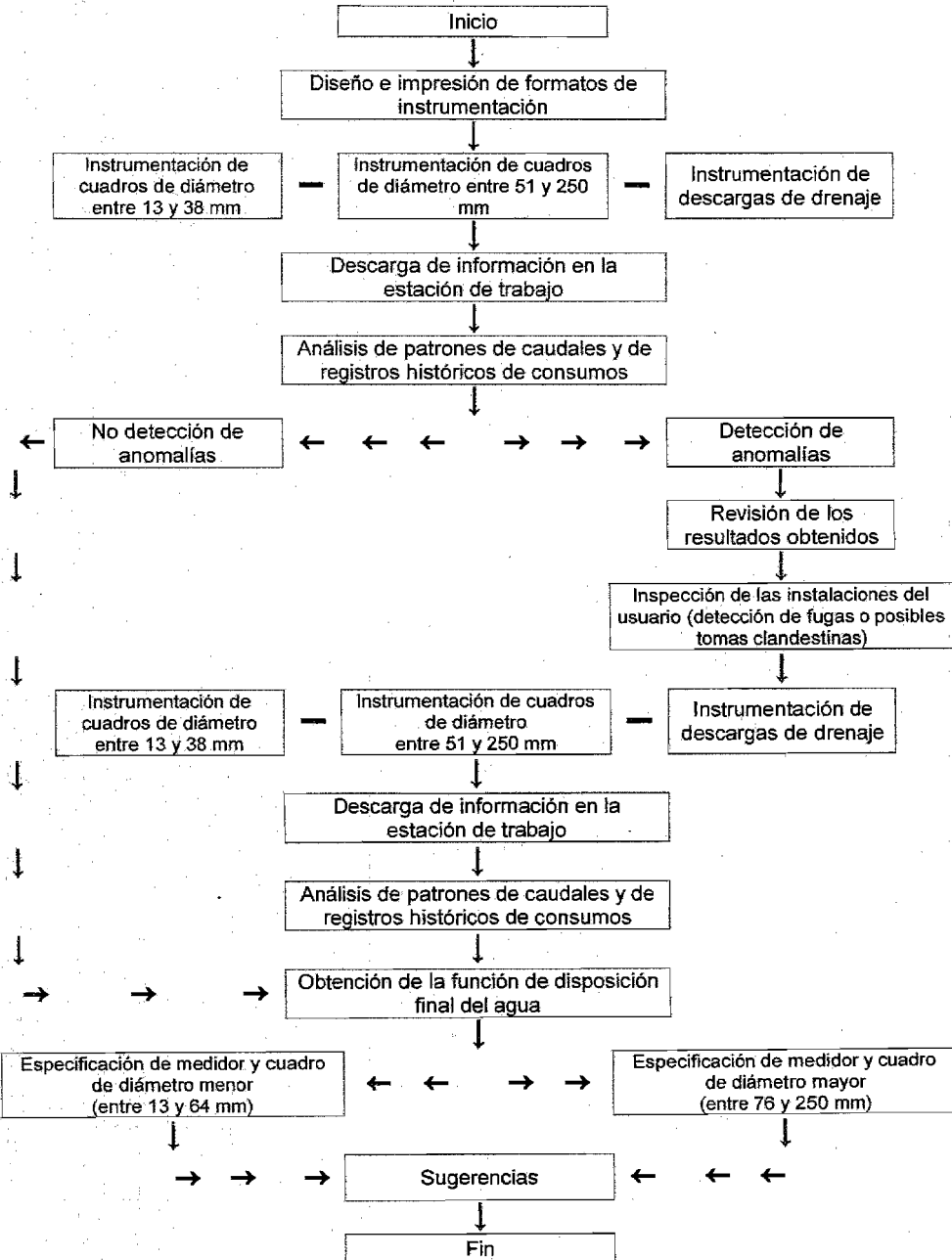
Posteriormente se realiza el análisis de patrones de caudales, tanto de suministro de agua potable, como de descarga de aguas residuales, obtenidos de las instrumentaciones realizadas. Mediante este análisis se obtienen los resultados estadísticos que nos permiten conocer la función de disposición final del agua.

Por otra parte, el Organismo Operador proporcionará los registros históricos de consumos de las tomas domiciliarias auditadas, los cuales serán analizados y evaluados; se determinarán los diferentes volúmenes de agua, en caso de detectar anomalías (el caudal de suministro es menor al caudal utilizado) se procederá a revisar los resultados obtenidos y a detectar una posible toma clandestina a través de una nueva instrumentación y de un nuevo recorrido a las instalaciones del usuario.

En base a los resultados obtenidos, se realizarán las especificaciones de medidor y cuadro de diámetro menor (entre 13 y 64 mm) y las especificaciones de medidor y cuadro de diámetro mayor (entre 76 y 250 mm). Observar diagrama 2.



Diagrama 2. Metodología de trabajo para la etapa 2.

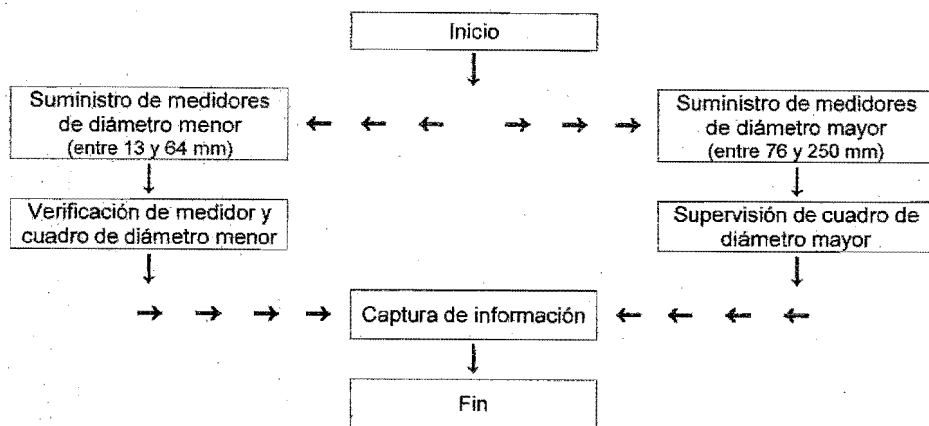




### Etapa 3: Supervisión e instalación.

En esta etapa, se suministran los medidores de diámetro menor y/o mayor al Organismo Operador para su instalación, y se supervisan los trabajos de adecuación de tomas y de instalación de medidores. Observar diagrama 3.

Diagrama 3. Metodología de trabajo para la etapa 3.



### Etapa 4: Implantación del sistema de lecturas y capacitación.

En la última etapa de la auditoría, se suministra al Organismo Operador un sistema de lectura automática (interrogadores portátiles), un sistema de administración de lecturas, y se capacita al personal en el manejo de dichos sistemas.

Mediante el sistema de lectura automática se lleva un control de los usuarios y de los medidores instalados en la localidad, se toman las lecturas de los medidores instalados automáticamente, sin necesidad de acceder al predio del usuario, agilizando con ello la toma de lecturas y eliminando con los errores humanos en la lectura de volúmenes de consumo y el contacto entre el lectorista y el usuario.

La captura de los volúmenes de consumo de cada usuario, se hace de manera automática al sistema comercial. Además, se puede llevar un control más preciso de los lectoristas, ya que el sistema permite conocer la ruta de cada lectorista y el tiempo que tardó en tomar cada lectura, el tiempo que tardó en trasladarse de un predio a otro y la forma que empleó para tomar la lectura: visual o electrónica. Con esta información se puede optimizar el rendimiento de los lectoristas, reducir el





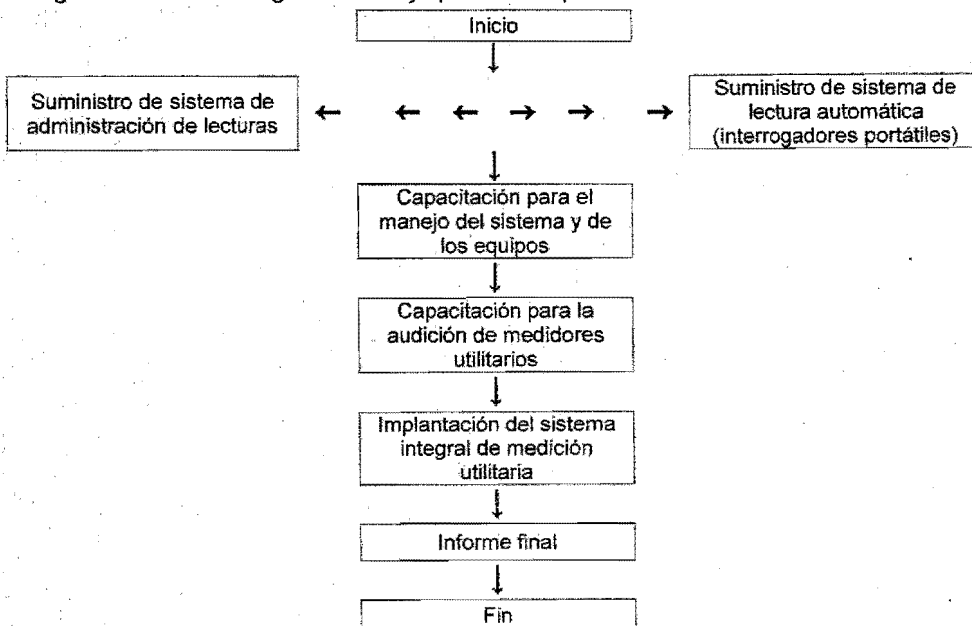
número de lecturistas requerido para la toma de lecturas, emplear a los lecturistas no requeridos, en la ejecución de otras actividades, ya que pueden ser capacitados para convertirse en auditores del agua que detecten fugas intradomiciliarias y tomas clandestinas, optimizando con ello la distribución de los servicios de agua potable a los usuarios.

Por otra parte, el sistema informático y los equipos recolectores de consumos en campo emiten alarmas por consumos altos y bajos.

El software mediante el cual se recolectan y administran las lecturas de cada medidor instalado ofrece la capacidad de coleccionar datos íntegros de acuerdo a las necesidades y demandas de cada Organismo Operador, permite el registro histórico de datos, permite registrar información específica de la localización del medidor y del usuario, permite la creación de reportes de campos específicos seleccionados de la base de datos sin requerir programación, intensifica la habilidad para buscar, ver e imprimir la información del usuario.

Observar diagrama 4.

Diagrama 4. Metodología de trabajo para la etapa 4.





### 3.3. Consideraciones generales.

Dentro de los proyectos para incrementar la recaudación de derechos, este proyecto tiene la máxima prioridad.

Proyectos adicionales de auditorías del agua se aplican sobre los usuarios domésticos y sobre estructuras específicas de infraestructura hidráulica: Tanques de almacenamiento, plantas de bombeo, líneas de conducción, etc.

Considerando las restricciones presupuestales, el proyecto puede subdividirse en tres proyectos, uno por etapa.

El control de megausuarios presenta condiciones tan específicas que permite concesionar esta tarea a una empresa particular.

Los derechos recaudados adicionales mediante este proyecto permiten incrementar las inversiones en la operación, mantenimiento y cobertura del sistema hidráulico.

Este tipo de proyectos hacen una analogía a las auditorías fiscales. En las auditorías del agua se determinan los distintos caudales y se observa la correcta aplicación de tarifas.

Las auditorías del agua proveen los elementos suficientes para reestructurar tarifas de derechos considerando el costo que implica la disposición del agua y del drenaje en los inmuebles y la recaudación de derechos. La recaudación siempre debe ser mayor a los costos de disposición.

Mediante las auditorías del agua se proveen elementos para cambiar la cultura actual sobre los usos del agua potable. En la tabla 2, se muestra de manera



comparativa los consumos, en volumen y costo, per cápitas de agua potable embotellada, de refresco, de cerveza y de agua potable municipal.

Tabla 3.3. Comparación de hábitos de consumo per cápitas.

PRODUCTO	CONSUMO ANUAL PERCAPITA (LITROS)*	PRECIO PROMEDIO POR LITRO (PESOS)	CONSUMO ANUAL PERCAPITA (PESOS)
AGUA MUNICIPAL	73,000.00	0.000006 a/	0.44
AGUA MUNICIPAL	73,000.00	0.00122 b/	89.06
AGUA MUNICIPAL	73,000.00	0.0099 c/	722.70
AGUA MUNICIPAL	73,000.00	0.007 d/	511.00
AGUA EMBOTELLADA	260.00	1.16	301.60
REFRESCOS	88.00	4.25	374.00
CERVEZA	67.00	10.75	720.25

\* Considerando una población de 90 millones de habitantes.

a/ tarifa mínima en la República Mexicana según estudios de la CNA

b/ tarifa promedio en la República Mexicana según estudios de la CNA

c/ tarifa máxima en la República Mexicana según estudios de la CNA

d/ tarifa promedio por m<sup>3</sup> según estudios del Banco Mundial, (70 centavos de dólar al tipo de cambio actual)

Como se observa en la tabla anterior, de manera promedio, la erogación anual que realiza cada ciudadano para el consumo de agua municipal es irrelevante comparado con las erogaciones anuales que realiza para agua embotellada, refrescos y cerveza. Es decir, la carente cultura sobre el agua predetermina las bajas erogaciones que los usuarios realizan en los servicios hidráulicos.



## CAPITULO IV

### INTRODUCCIÓN AL FLUJO DE TUBERIAS

#### 4.1. Concepto de tubos a presión

Se le llama tubo a presión a toda conducción cerrada en la cual el líquido que fluye está sometido a una presión variable. Por lo tanto, es condición indispensable que el líquido esté aislado físicamente de la atmósfera circundante y que llene completamente el interior de la tubería. Cuando el conducto está abierto a la atmósfera o la tubería esta cerrada pero el líquido llena solo parcialmente el conducto, se denominan conducciones libres o a superficie libre.

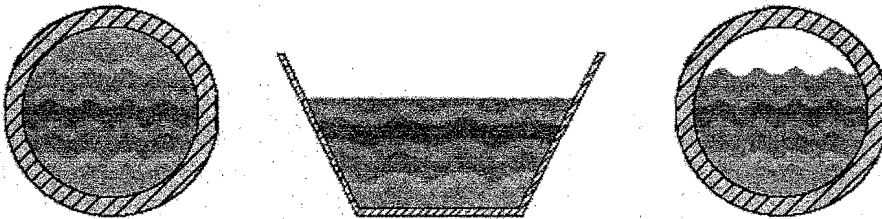


Figura 4.1. Tubería a presión, canal abierto, tubería parcialmente llena.

Las diferencias de presión en un tubo forzado son capaces de mantener el fluido en movimiento, independientemente de que el trazado de la conducción sea horizontal, descendente o ascendente; el flujo inclusive puede ascender verticalmente. Esto representa un marcado contraste con las conducciones libres, en las que la fuerza motriz es exclusivamente la gravedad.

El flujo en tubos a presión es básicamente unidimensional, ya que las velocidades de las partículas tienen una misma dirección: la del eje de la tubería. No importa que éste tenga cambios de alineación a lo largo de su recorrido; en general, basta que en cada sección transversal las velocidades sean paralelas para su enfoque como flujo unidimensional. Esto representa una gran ventaja, ya que el flujo bi o tridimensional requiere un tratamiento analítico mucho más complejo.

En la gran mayoría de las conducciones a presión, la sección del flujo es constante, al menos por tramos, por lo cual la velocidad media será la misma en



todas las secciones y esto significa que el flujo es uniforme. Cuando esto no ocurre se dice que el flujo es variado, por ejemplo en los tubos de desfogue de las turbinas hidráulicas, cuya sección es creciente.

Otra condición que también se cumple en la mayoría de los casos es que la sección transversal de la tubería es de forma circular, ya que esta es la que conjuga las ventajas de funcionamiento hidráulico y estructural, además de facilidad en su fabricación, manipulación y puesta en operación.

#### 4.2. Empleo y características técnicas

De todas las conducciones hidráulicas el tubo a presión es la más difundida ya que es la más adecuada y favorable para la conducción de líquidos, aunado a lo anterior posee una gran variedad de usos, desde gastos muy pequeños como en el caso de instrumental médico y quirúrgico, hasta caudales de gran magnitud como los empleados en plantas hidroeléctricas y acueductos. Algunos usos específicos de conducciones son los siguientes:

- Abastecimiento de agua para uso domiciliario e industrial.
- Instalaciones sanitarias.
- Conducción de líquidos diversos en plantas industriales.
- Extracción de agua de pozos.
- Instalaciones de bombeo.
- Oleoductos.
- Instalaciones para riego a presión (por aspersión y por goteo).
- Sistemas de calefacción por agua.
- Sistemas de refrigeración en plantas termoeléctricas.
- Gaseoductos.
- Instalaciones de aire acondicionado.

Los materiales empleados en la fabricación o construcción de tuberías a presión son sumamente variados. La selección del material obedece a diversas razones; desde el punto de vista hidráulico debe procurarse que la tubería tenga una superficie interior lisa, a fin de minimizar la fricción. En lo que respecta a la



estructura debe buscarse un tubo capaz de resistir los esfuerzos a que se verá sometido, que básicamente son: la presión interna, que provoca esfuerzos normales en dirección tangencial; la flexión en el caso de tuberías apoyadas y el aplastamiento en el caso de tuberías enterradas. En el aspecto constructivo, debe buscarse que la tubería sea liviana, pero no demasiado frágil a fin de que pueda resistir la manipulación y que sus juntas y accesorios sean fáciles de poner en obra. También deben atenderse otros factores asociados al tipo especial de conducción que se proyecta; por ejemplo, si el líquido es químicamente agresivo deberá buscarse un material resistente a la corrosión o si es caliente, se requerirá un material capaz de tolerar altas temperaturas.

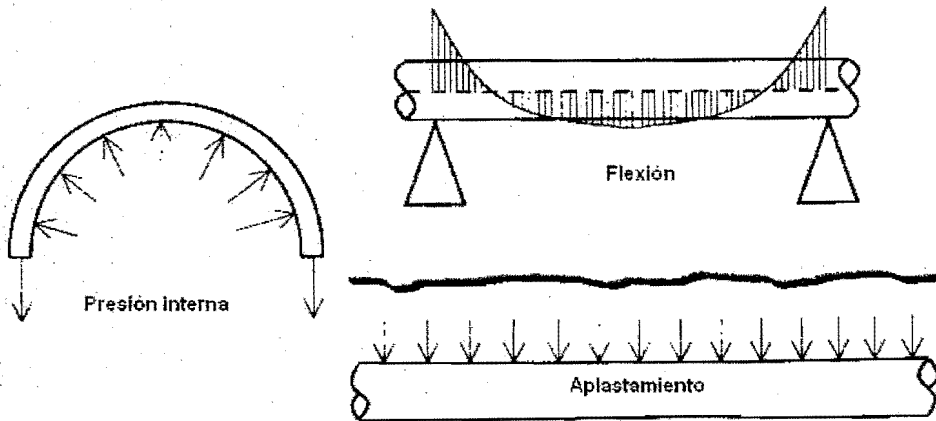


Figura 4.2. Esfuerzos ejercidos sobre una tubería.

Tradicionalmente, el fierro fundido y el acero galvanizado han sido empleados para conducciones de agua; sin embargo, con el paso del tiempo otros materiales han alcanzado gran difusión como el asbesto cemento, el PVC (cloruro de polivinilo, y el PEAD (polietileno de alta densidad), estos últimos tienen la propiedad de ser muy lisos. Sin embargo, el acero sigue siendo el material más conveniente cuando la presión interna es muy alta. El concreto reforzado se emplea en tuberías de gran diámetro, especialmente si son construidas in situ; en estos casos también se emplea la placa de acero soldada.



Por otra parte, los accesorios son piezas especiales que se interponen en la tubería para diferentes fines, tales como: cambio de dirección de la conducción, control de gasto, bifurcaciones y control de presiones. Algunos de ellos tienen influencia en el flujo, ya que provocan una disipación de energía debida al cambio forzado de la dirección de las partículas líquidas. Los principales accesorios en tuberías son:

- Codos
- Tees
- Reducciones
- Expansiones o ampliaciones
- Uniones
- Válvulas (de compuerta, globo, check, mariposa, admisión y expulsión de aire, aliviadoras de presión, etc.)
- Filtros
- Medidores de flujo

Generalmente, los accesorios son piezas prefabricadas de hierro fundido, acero, bronce o inclusive plástico. Las uniones entre tramos de tubería pueden hacerse de distintas formas; las más comunes son: roscadas, a bridas soldadas, de macho y campana y de anillos exteriores. Todas ellas están diseñadas para asegurar la estanqueidad del fluido, pero no siempre para resistir los esfuerzos de flexión o longitudinales; esto debe tenerse en cuenta para calcular el soporte de la tubería.

#### 4.3. Ecuaciones de conservación

Cualquier fenómeno dentro de la hidráulica debe satisfacer una serie de principios o leyes fundamentales enumerados a continuación:

- a) Conservación de la masa
- b) Conservación de la cantidad de movimiento.
- c) Conservación de la energía (1ra Ley de la Termodinámica)
- d) 2da Ley de la termodinámica.



Estos principios básicos son interpretados por un conjunto de ecuaciones que, según el caso de estudio y las hipótesis que puedan aceptarse del mismo, adquieren formas particulares de gran utilidad práctica. El principio indicado en el inciso d) tiene poco interés en hidráulica, puesto que casi siempre se trabaja con líquidos incompresibles y los fenómenos de transferencia de calor carecen de relevancia; por ello sólo se prestará atención a los tres primeros.

Las ecuaciones de la conservación pueden ser expresadas en forma diferencial o integral, lo cual condicionará el tratamiento matemático que se emplee en su análisis. En el presente capítulo dichas ecuaciones serán analizadas en forma integral, para ello supondremos un conjunto continuo de partículas fluidas, denominadas sistema, al cual aplicaremos las ecuaciones de continuidad.

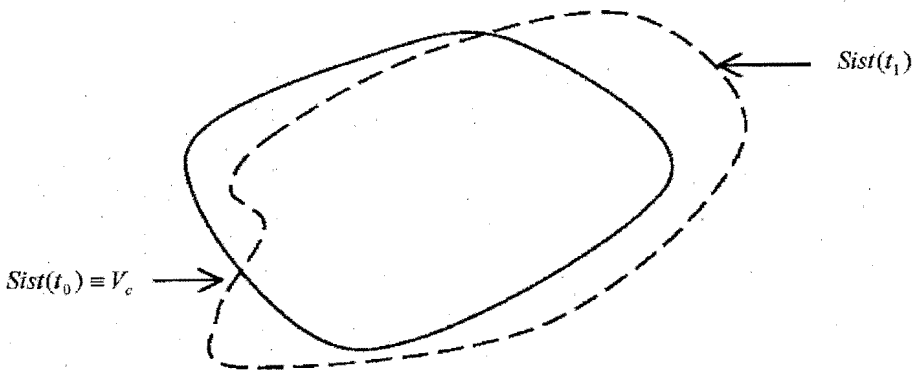


Figura 4.3. Sistema y volumen de control.

En la figura podemos observar que el sistema ocupa el volumen de control  $V_c$  en el instante  $t_0$  pero ocupa otra posición en el instante  $t_1$ .

- a) El principio de conservación de la masa, llamado también en mecánica de fluidos ley de continuidad, expresa que la masa del sistema es constante. Una partícula y por extensión, un sistema, puede manifestar cambios en muchas de sus propiedades como consecuencia de cargas externas, pero





la masa permanece invariable, independiente del tiempo y de cualquier acción que afecte al sistema. Matemáticamente este sistema se expresa:

$$m_{sist} = \text{constante}$$

o bien:

$$\frac{d}{dt} m_{sist} = 0 \dots \dots \dots (1)$$

Esto es: la variación en el tiempo de la masa del sistema es nula.

- b) El principio de conservación de la cantidad de movimiento o de conservación del momentum, es una forma de presentar la Segunda Ley de Newton cuya expresión para una partícula es la conocida fórmula de fuerza = masa x aceleración. Para un sistema continuo de partículas se requieren dos ecuaciones vectoriales:

La primera es la ecuación de la conservación de la cantidad de movimiento lineal, y dice que el impulso de las fuerzas aplicadas sobre el sistema es igual al aumento de su cantidad de movimiento. Esto es:

$$\left( \sum_{sist} \bar{F} \right) dt = d(\bar{mV})_{sist} \dots \dots \dots (2)$$

o bien:

$$\sum_{sist} F = \frac{d(\bar{mV})_{sist}}{dt} \dots \dots \dots (3)$$

En la expresión anterior, el símbolo  $(\bar{mV})_{sist}$  representa la cantidad de movimiento del sistema y por lo tanto, es la suma de las cantidades de movimiento de las partículas que lo componen:

$$(\bar{mV})_{sist} = \iiint_{sist} \bar{V} dm \dots \dots \dots (4)$$

Donde  $V$  es la velocidad de cada partícula y  $dm$  su masa.

La ecuación de conservación de la cantidad de movimiento angular es análoga a la anterior y dice que el impulso de los momentos exteriores aplicados al sistema es igual al incremento de su cantidad de movimiento angular.



$$\left( \sum_{sist} \overline{M_0} \right) dt = d\bar{h}_{sist} \dots \dots \dots (5)$$

o bien:

$$\sum_{sist} M_0 = \frac{d\bar{h}_{sist}}{dt} \dots \dots \dots (6)$$

Donde  $\bar{h}_{sist}$  es la cantidad de movimiento angular del sistema.

$$\bar{h}_{sist} = m(\vec{r}_0 \times V)_{sist} = \iiint_{sist} (\vec{r}_0 \times V) dm \dots \dots \dots (7)$$

El subíndice 0 representa el punto con respecto al cual toman los momentos  $M_0$  y los radios vectores  $r_0$ .

- c) Por último, el principio de conservación de la energía expresa que todo trabajo o calor que el sistema recibe se almacena en éste en forma de energía.

$$dW_{alsist} + dQ_{alsist} = dE_{sist} \dots \dots \dots (8)$$

El término  $dQ$  (calor agregado al sistema) no tiene relevancia, de manera que se aceptará que:

$$dW = dE \dots \dots \dots (9)$$

o bien:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{dE}{dt} \dots \dots \dots (10)$$

#### 4.3.1. Relaciones integrales para un volumen de control

En la mecánica de los medios continuos resulta generalmente incómodo analizar el movimiento de un sistema de partículas, ya que éste ocupa sucesivamente distintas posiciones en el espacio y además, como no todas las partículas tienen la misma velocidad, el sistema se deforma, haciendo aún más difícil su estudio. Por eso es que resulta de especial interés la introducción del concepto de volumen de control, que se define como una región del espacio, cuyo objetivo es estudiar el movimiento de los sistemas de partículas que sucesivamente van ocupando esa posición. No es necesario que el volumen de control sea fijo y rígido; en su forma más general es móvil y además deformable. A la frontera del volumen de control



que es la superficie que lo separa del resto del espacio, se le llama superficie de control.

Para iniciar el estudio del flujo, es necesario expresar las ecuaciones de conservación de manera que resulten válidas para un volumen de control, considerando que lo que es válido para un sistema no necesariamente lo es para un volumen de control; por ejemplo, si el volumen de control  $V_c$  de la figura 4.3 es ocupado por partículas cada vez más livianas, no será cierto que su masa es constante. El problema planteado puede ser resuelto mediante el Teorema del Transporte de Reynolds, el cual demuestra la validez de la siguiente ecuación integral:

$$\frac{d}{dt}(B_{sist}) = \frac{d}{dt} \left( \iiint_{V_c} b \rho dV \right) + \iint_{A_c} b \rho (\mathbf{V}_r \times \hat{n}) dA \dots \dots \dots (11)$$

Donde  $B$  representa una propiedad extensiva del sistema, que puede ser la masa, energía, peso, etc. y  $b$  representa su respectiva propiedad intensiva; esto es: si  $dB$  es el valor de  $B$  para una partícula de masa  $dm$ , entonces  $b = dB/dm$ . El símbolo  $V_r$  representa la velocidad relativa de la partícula respecto del volumen de control; si este es fijo entonces  $V_r = V$  (velocidad absoluta); finalmente,  $\rho$  es la densidad del fluido,  $dV$  es un diferencial del volumen,  $dA$  es un diferencial de área y  $\hat{n}$  es un vector unitario normal al área, el cual convencionalmente apunta hacia fuera del volumen de control. En resumen, esta ecuación nos indica que la variación respecto del tiempo de la propiedad  $B$  en el sistema, es igual a la variación temporal de la misma propiedad en el volumen de control más el flujo de  $B$  a través de la superficie de control.

a) Si  $B$  es, por ejemplo la masa  $m$  del sistema, entonces  $b = dB/dm$  será igual a la unidad; reemplazando estos valores en la ecuación 11 se obtiene:

$$\frac{d}{dt}(m_{sist}) = \frac{d}{dt} \left( \iiint_{V_c} \rho dV \right) + \iint_{A_c} \rho (\mathbf{V}_r \times \hat{n}) dA$$

Si ahora se compara esta ecuación con la ecuación 1, se verá que esta expresión es a su vez igual a cero



$$\frac{d}{dt} \left( \iiint_{\mathcal{V}_c} \rho dV \right) + \iint_{\mathcal{A}} \rho (\mathcal{V}_r \times \hat{n}) dA = 0 \dots \dots \dots (12)$$

que es la ecuación de la conservación de la masa para un volumen de control.

b) Si  $B = m\mathcal{V}$  entonces  $b = \frac{dB}{dm} = \mathcal{V}$ ; reemplazando en la ecuación 11 y combinando con la ecuación 3 tenemos:

$$\Sigma F = \frac{d}{dt} \left( \iiint_{\mathcal{V}_c} \mathcal{V} \rho dV \right) + \iint_{\mathcal{A}} \mathcal{V} \rho (\mathcal{V}_r \times \hat{n}) dA \dots \dots \dots (13)$$

ecuación integral de la conservación de la cantidad de movimiento lineal para un volumen de control. Ahora  $\Sigma F$  será la suma de las fuerzas aplicadas sobre el volumen de control.

Por otra parte, si  $B = \hat{n}$ , entonces  $b = \frac{dB}{dm} = (\mathcal{V}_0 \times \mathcal{V})$  reemplazando en la ecuación 11 y combinando con la ecuación 6

$$\Sigma \bar{M}_0 = \frac{d}{dt} \left( \iiint_{\mathcal{V}_c} \mathcal{V}_0 \times \mathcal{V} \rho dV \right) + \iint_{\mathcal{A}} (\mathcal{V}_0 \times \mathcal{V}) \rho (\mathcal{V}_r \times \hat{n}) dA \dots \dots \dots (14)$$

ecuación integral de la conservación de la cantidad de movimiento angular para un volumen de control.

c) Finalmente, si  $B = E$ , entonces  $b = \frac{dB}{dm} = e$  (energía por unidad de masa); reemplazando en la ecuación 11 y combinando con la ecuación 10.

$$\frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \iiint_{\mathcal{V}_c} e \rho dV \right) + \iint_{\mathcal{A}} e \rho (\mathcal{V}_r \times \hat{n}) dA \dots \dots \dots (15)$$

ecuación integral de la conservación de la energía para un volumen de control.

#### 4.3.2. Ecuaciones de conservación para un volumen de control simplificado

Para el caso de tuberías a presión, pueden admitirse las siguientes hipótesis que reducen considerablemente la complejidad de las ecuaciones y por ende del problema:

- El fluido es incompresible,  $\rho = \text{constante}$ .



- El flujo es permanente: la variación de la velocidad (y de cualquier variable del flujo) en cada punto del volumen de control es nula con respecto al tiempo.
- El volumen de control es rígido y fijo.
- El volumen de control tiene una sola entrada y una sola salida normales al flujo.

En estas condiciones el volumen de control es como se muestra en la siguiente figura.

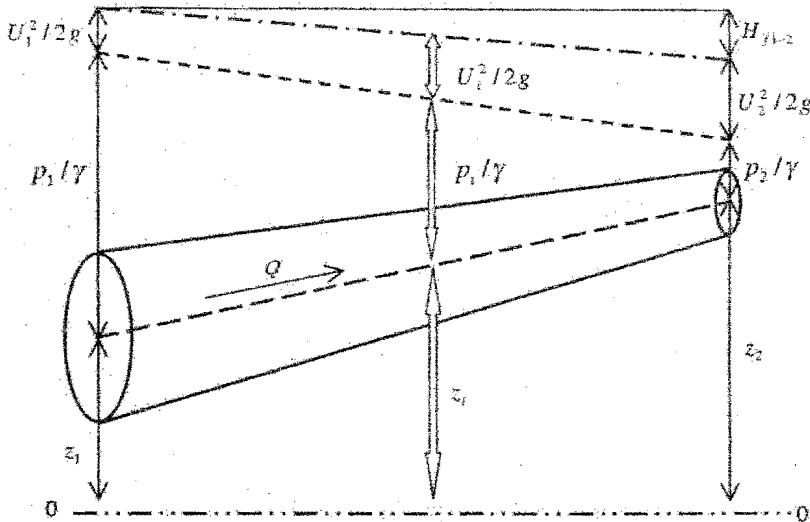


Figura 4.4. Volumen de control simplificado.

Para las hipótesis expuestas anteriormente, las ecuaciones de conservación adoptan las siguientes expresiones:

a) Conservación de la masa (continuidad).

$$U_1 A_1 = U_2 A_2 \dots \dots \dots (16)$$

La velocidad  $U$  se refiere a la velocidad media, es decir, el promedio de las velocidades puntuales  $V$  que hay en cada punto del campo de flujo que existe en la sección.

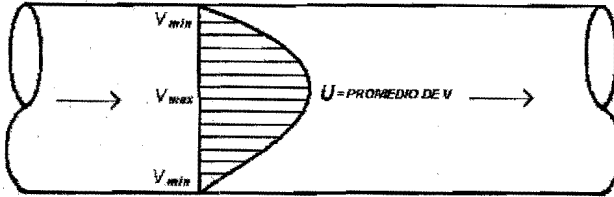


Figura 4.5. Perfil de velocidades.

b) Conservación de la cantidad de movimiento lineal y de movimiento angular.

Para el movimiento lineal tenemos:

$$\Sigma F = \rho Q(\beta_2 U_2 - \beta_1 U_1) \dots \dots \dots (17)$$

Esta ecuación es vectorial, por lo cual, debe descomponerse en las tres dimensiones del espacio. El factor  $\beta$ , que es el coeficiente de Boussinesq, tiene en cuenta la corrección que es necesario aplicar para expresar los términos entre paréntesis empleando la velocidad media  $U$ . Su valor se calcula en función de la distribución de velocidades en la sección:

$$\beta = \frac{\int_A V^2 dA}{U^2 A} \dots \dots \dots (18)$$

Para el caso de tuberías de sección circular,  $\beta$  asume los siguientes valores:

Para régimen laminar  $\beta = 1.33$

Para régimen turbulento  $\beta = 1.01$

Dado lo anterior, para el flujo turbulento  $\beta$  puede considerarse igual a 1; no ocurre lo mismo para el flujo laminar, pero en este caso, regularmente las velocidades son muy bajas, por lo cual este valor puede despreciarse, de manera que tenemos:

$$\Sigma F = \rho Q(U_2 - U_1) \dots \dots \dots (19)$$

Por otra parte, para el movimiento angular tenemos lo siguiente:



$$\sum \bar{M}_o = \rho Q (\beta_2 \bar{r}_2 \times \bar{U}_2 - \beta_1 \bar{r}_1 \times \bar{U}_1) \dots \dots \dots (20)$$

o bien, admitiendo que  $\beta_1 = \beta_2 = 1$

$$\sum \bar{M}_o = \rho Q (\bar{r}_2 \times \bar{U}_2 - \bar{r}_1 \times \bar{U}_1) \dots \dots \dots (21)$$

c) La ecuación de la conservación de la energía para un volumen de control simplificado es la siguiente:

$$\left( z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{U_1^2}{2g} \right) - \left( z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{U_2^2}{2g} \right) = H_f - H_s \dots \dots \dots (22)$$

donde  $z$  es la elevación de la sección con respecto a un plano horizontal de referencia (que se indica como 0-0 en la figura 4.4). La posición de este plano es arbitraria, en ocasiones se adopta el nivel medio del mar, pero no necesariamente.

$\frac{p}{\gamma}$  es la presión en cada sección dividida por el peso específico del líquido.

La dimensión física de estos términos no es de energía, sino de longitud, debido a que la ecuación está expresada en términos de energía por unidad de peso; el término  $z$  resulta de dividir la energía potencial de posición (o energía potencial geodésica) por el peso del líquido:

$$\frac{E_z}{W} = \frac{mgz}{mg} = z$$

El término  $\frac{p}{\gamma}$  es también una energía potencial, denominada energía potencial de presión. En efecto, la presión es una manera de acumular energía (si se infla un globo, el aire a presión en su interior posee una energía que puede transformarse en cinética si el globo se poncha o se abre).

$$\frac{E_p}{W} = \frac{pV}{mg} = \frac{p}{\gamma}$$

$\frac{U^2}{2g}$  es la energía cinética, también por unidad de peso.

$$\frac{E_c}{W} = \frac{\frac{pV^2}{2}}{mg} = \frac{V^2}{2g}$$



El coeficiente  $\alpha$  tiene un significado análogo a  $\beta$ , recibe el nombre específico de Coeficiente de Coriolis y tiene en cuenta la corrección necesaria para expresar la energía cinética en función de la velocidad media. Por definición es:

$$\alpha = \frac{\int V^3 dA}{U^3 A} \dots \dots \dots (23)$$

El valor de  $\alpha$  para tuberías circulares es:

- Para régimen laminar  $\alpha = 2.00$   
 Para régimen turbulento  $\alpha = 1.05$

De igual manera que con el coeficiente  $\beta$ , para  $\alpha$  también son válidas las mismas observaciones, por lo cual podemos admitir que:

$$\left( z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} \right) - \left( z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g} \right) = H_f - H_s \dots \dots \dots (24)$$

A la suma de los tres términos entre paréntesis se le denomina energía mecánica total, energía hidráulica o carga hidráulica. A la suma parcial  $\left( z + \frac{p}{\gamma} \right)$  se le suele llamar energía piezométrica o energía motriz, mientras que a  $\frac{p}{\gamma} + \frac{U^2}{2g}$  se le designa como presión total, en cuyo caso a  $\frac{p}{\gamma}$  se le llama presión estática y a  $\frac{U^2}{2g}$ , presión dinámica.

$H_f$  es la pérdida de energía en forma de calor por unidad de peso, entre las secciones 1 y 2; se le llama también pérdida de carga, caída de energía o simplemente pérdida. A su vez comprende dos términos:

$$H_f = h_f + h_a \dots \dots \dots (25)$$

$h_f$  es la pérdida por fricción, pérdidas primarias o pérdidas mayores, y se producen por rozamiento de las partículas líquidas entre sí o bien entre éstas y el contorno sólido a lo largo de la tubería.





$h_a$  son las pérdidas locales, pérdidas de forma, pérdidas secundarias o pérdidas menores, y se producen por singularidades en la tubería; básicamente accesorios que provocan cambios bruscos en la dirección de las trayectorias líquidas.

Por último,  $H_s$  es la energía transferida al o del líquido por una máquina hidráulica entre las secciones 1 y 2; será positiva en el caso de una bomba que adiciona energía al líquido y negativa en el caso de una turbina que absorbe energía hidráulica para transformarla en energía mecánica de un sólido de rotación; en este caso el líquido pierde energía, pero no en forma de calor como en el caso de  $H_f$ , sino en trabajo aprovechable.

Por otra parte, es conveniente señalar que  $z$  es la elevación de cada sección, y su valor puede ser positivo o negativo, dependiendo de la elevación del plano de referencia 0-0, como este plano es arbitrario, en general conviene elegirlo de manera que  $z$  sea siempre positivo;  $\frac{p}{\gamma}$  puede ser positivo o negativo si la presión  $p$  es relativa, o sea referida a la presión atmosférica local, pero será siempre positivo si la presión es absoluta, o sea referida al cero absoluto. En general, siempre conviene trabajar con presiones relativas,  $\frac{U^2}{2g}$  y  $H_f$  serán siempre positivos;  $H_s$  como se menciona anteriormente, puede ser positivo o negativo.

Si no existe alguna máquina que produzca el término  $H_s$  y además las pérdidas entre 1 y 2 son despreciables, entonces la ecuación 24 queda de la siguiente manera:

$$\left( z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} \right) = \left( z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g} \right) \dots \dots \dots (26)$$

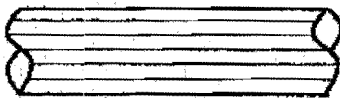
esta expresión es la ecuación de Bernoulli y para que sea válida con suficiente aproximación es necesario que:

- La longitud de la conducción no sea demasiado larga comparada con sus dimensiones transversales (medidas hasta el contorno sólido).

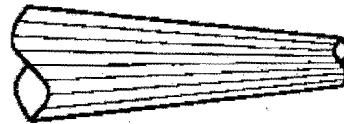


- Que el flujo sea uniforme, convergente, o bien divergente pero de divergencia suave.

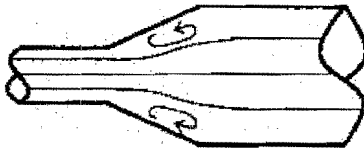
La primera de estas dos razones tiene por objeto que la pérdida por fricción  $h_f$  sea despreciable. La segunda se refiere a lo siguiente: cuando el flujo es uniforme, la velocidad y por lo tanto su energía cinética, permanecen constantes; cuando es convergente la velocidad aumenta por la ley de continuidad, y aumenta la energía cinética a expensas de la energía de presión; finalmente, cuando es divergente ocurre lo contrario, la velocidad disminuye y se produce una transformación de energía cinética en potencial; si la divergencia es brusca, se observa un fenómeno conocido como separación, esto es: las trayectorias líquidas extremas se separan del contorno sólido, lo cual genera una pérdida de energía; sólo si la divergencia es suave puede evitarse este problema.



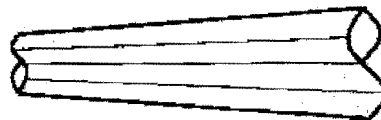
TUBO UNIFORME



TUBO CONVERGENTE



TUBO BRUSCAMENTE DIVERGENTE



TUBO GRADUALMENTE DIVERGENTE

Figura 4.6. Tipos de flujo según la forma de la tubería.

#### 4.3.3. Ecuaciones de conservación para un tubo circular recto a presión

Para este caso, además de las hipótesis expuestas en el apartado anterior se deben agregar las siguientes:

- La sección transversal es circular de diámetro constante.
- El eje de la tubería es recto.



En términos prácticos, se trata de un tubo circular recto sin accesorios. En casos como este, independientemente de considerar las coordenadas ortogonales  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , conviene utilizar coordenadas cilíndricas, éstas son: la del eje del tubo,  $l$ ; la del radio del mismo,  $r$ ; y una coordenada angular  $\phi$ ; sin embargo, ésta última, rara vez se usa porque el fenómeno goza de simetría radial.

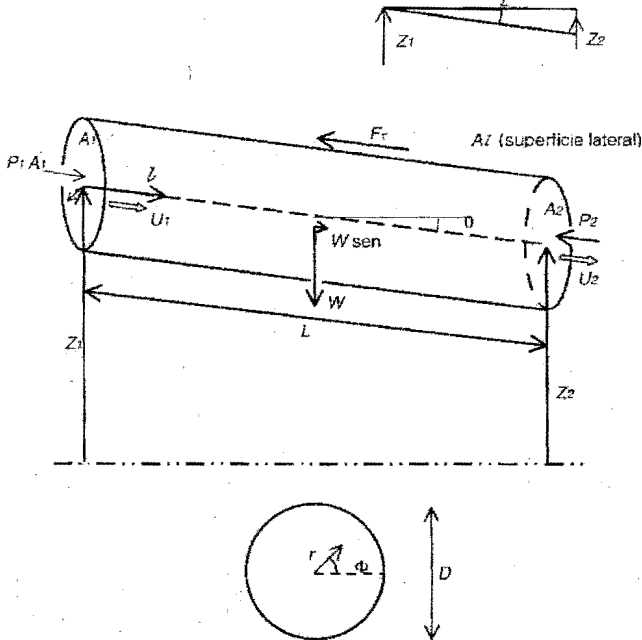


Figura 4.7. Segmento de tubo circular recto.

- a) Conservación de la masa. La sección transversal es constante y su área es igual a la de un círculo de diámetro  $D$ ; por lo tanto  $U_1 = U_2 = U$  y además:

$$Q = UA = \frac{U\pi D^2}{4} \dots \dots \dots (27)$$

$$U = \frac{4Q}{\pi D^2} \dots \dots \dots (28)$$

- b) Conservación de la cantidad de movimiento.

$$\sum \bar{F} = pQ(U_2 - U_1)$$

pero  $U_1$  y  $U_2$ , tienen la misma dirección y sentido opuesto:



$$\sum F = 0 \dots\dots\dots (29)$$

Las fuerzas actuantes sobre este volumen de control son los empujes hidrostáticos sobre las caras externas  $\overline{p_1 A_1}$  y  $\overline{p_2 A_2}$  el peso  $W$  y la fuerza  $F_c$  que aplica el contorno sólido sobre el líquido.

$$\overline{p_1 A_1} + \overline{p_2 A_2} + W + F_c = 0 \dots\dots\dots (30)$$

c) Conservación de la energía. En este caso, por ser  $U_1 = U_2$  y por existir sólo pérdidas primarias, la ecuación 24 se reduce a:

$$\left( z_1 + \frac{P_1}{\gamma} \right) - \left( z_2 + \frac{P_2}{\gamma} \right) = h_f \dots\dots\dots (31)$$

A continuación, se considerará la componente de la ecuación 30 sobre la coordenada longitudinal  $l$ , considerando que:

- Los empujes  $\overline{p_1 A_1}$  y  $\overline{p_2 A_2}$  tienen exactamente la dirección  $l$ , el primero con sentido positivo y el segundo negativo.
- La componente del peso  $W$  sobre  $l$  es  $W \text{sen} \theta$ .
- La fuerza  $F_c$  aplicada por el contorno sólido sobre la superficie lateral  $A_1$  tiene dos componentes, una normal  $F_n$  y otra tangencial  $F_r$ , esta última es la que actúa sobre el eje  $l$  y con sentido negativo porque se opone al flujo.

La ecuación resultante es:

$$\overline{p_1 A_1} + \overline{p_2 A_2} + W \text{sen} \theta - F_r = 0 \dots\dots\dots (32)$$

Por razones de simetría el esfuerzo cortante  $\tau_0$  que actúa a nivel del contorno sólido es constante a lo largo de la superficie  $A_1$ , de manera que podrá escribirse:

$$F_r = \tau_0 A_1$$

Como  $A_1$  es una superficie cilíndrica de diámetro  $D$  y longitud  $L$ , resulta:

$$F_r = \tau_0 \pi D L \dots\dots\dots (33)$$

El peso  $W$  es igual al volumen cilíndrico por el peso específico del líquido.

$$W = \frac{\pi D^2}{4} L \gamma \dots\dots\dots (34)$$

Remplazando las ecuaciones 33 y 34 en la ecuación 32 y considerando que  $A_1 = A_2 = \pi D^2 / 4$  resulta:

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**



$$(p_1 - p_2) \frac{\pi D^2}{4} + \frac{\pi D^2}{4} L \gamma \sin \theta - \tau_0 \pi D L = 0$$

$L \gamma \sin \theta = (z_1 - z_2)$  como se muestra en la figura 4.7; reemplazando esta ecuación en la anterior y reagrupando términos, resulta:

$$\left( \frac{p_1}{\gamma} + \frac{p_2}{\gamma} + z_1 + z_2 \right) \frac{\gamma \pi D^2}{4} - \tau_0 \pi D L = 0$$

Despejando  $\tau_0$

$$\tau_0 = \left[ \left( z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) - \left( z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) \right] \gamma \frac{D}{4 L}$$

Reemplazando la ecuación 31 en la anterior:

$$\tau_0 = \frac{h_f}{L} \gamma \frac{D}{4} \dots \dots \dots (35)$$

La cantidad  $h_f/L$  es la pérdida de energía por unidad de longitud o pérdida de energía unitaria.

$$S_f = \frac{h_f}{L} \dots \dots \dots (36)$$

Analizando la figura 4.7 se puede observar que  $S_f$  es una constante cualquiera que sea la longitud  $L$  que se considere. En efecto, esto es cierto por una cuestión de simetría: a iguales longitudes habrá iguales pérdidas o. Dicho de otra manera:

$$\frac{h_f}{L} \text{ es proporcional a } L$$

Reemplazando la ecuación 36 en la ecuación 35:

$$\tau_0 = \gamma S_f \frac{D}{4} \dots \dots \dots (37)$$

Esta ecuación evalúa el esfuerzo de corte en el contorno del flujo en función del peso específico del fluido, la pérdida y el diámetro del tubo.

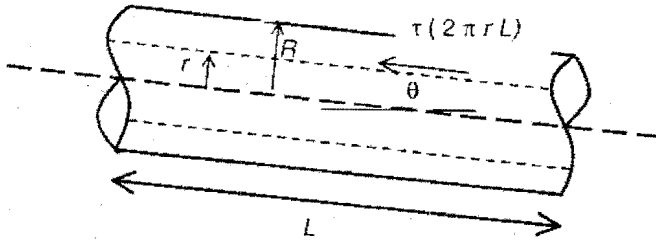


Figura 4.8. Cilindro concéntrico de radio  $r$  interior a la tubería.

Por último, si consideramos un cilindro de radio  $r$ , concéntrico con el eje de la tubería;  $r$  es un radio menor que el del tubo ( $r < R = D/2$ ), como el que se muestra en la figura 4.8. La diferencia es que el nuevo volumen de control no está rodeado por un sólido, sin embargo, si las trayectorias son paralelas, no habrá flujo a través de la superficie lateral; por lo tanto, las ecuaciones podrán aplicarse en forma análoga y la ecuación 37 tendrá ahora la forma:

$$\tau = \gamma S_f \frac{r}{2} \dots \dots \dots (38)$$

$\tau$  representa el esfuerzo de corte a un nivel  $r$  cualquiera, y de acuerdo con esta ecuación, su distribución es lineal, como se representa en la siguiente figura.

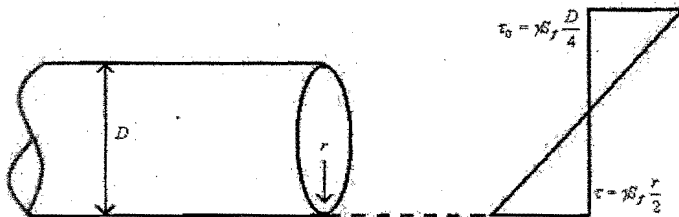


Figura 4.9. Perfil de esfuerzos cortantes en la sección transversal de un tubo a presión.

#### 4.3.4. Diagrama de energía

El hecho de que los términos de la ecuación de la energía sean equivalentes a longitudes, facilita su representación gráfica. En la figura 4.4. por ejemplo, se han representado, como



segmentos verticales, los términos  $z_1 \frac{p}{\gamma}$  y  $U^2/2g$  de las secciones externas 1 y 2 del volumen de control. Pero también en el mismo diagrama es fácil representar estos mismos términos para las secciones intermedias (al menos para aquellas en las que es válida la hipótesis de que la entrada y salida del volumen de control las trayectorias líquidas son rectas o bien su velocidad es muy pequeña o su curvatura despreciable), como se hace en la sección 1 de la misma figura. De esta manera se pueden trazar líneas que unan los extremos de los segmentos  $z_1 \frac{p}{\gamma}$  y  $U^2/2g$  a lo largo de todo el tramo en estudio; la gráfica así resultante se llama diagrama de energía y esta formado por cuatro líneas:

- El eje de referencia horizontal (línea de raya y doble punto).
- Línea centroidal o baricéntrica de la tubería, llamada línea geodésica porque representa la energía geodésica  $z$  (línea de guiones anchos).
- Línea de energía motriz o línea piezométrica, que representa la suma  $z + p/\gamma$  (línea de guiones cortos).
- Línea de energía mecánica total o línea de energía, que representa la suma de los tres términos (línea de raya y punto).

Este diagrama facilita la visualización de los cambios de energía que se producen a lo largo del flujo, especialmente las pérdidas, que están representadas por el descenso de la línea de energía total ( $H_{f1-2}$ ).

En la figura 4.10 se representa el diagrama de energía de una conducción a presión; la tubería conduce agua del tanque  $T_o$  al  $T_u$ . El volumen de control que deberá tomarse para analizar este problema puede iniciar en la sección 1 o 0, que corta el tanque  $T_o$ .

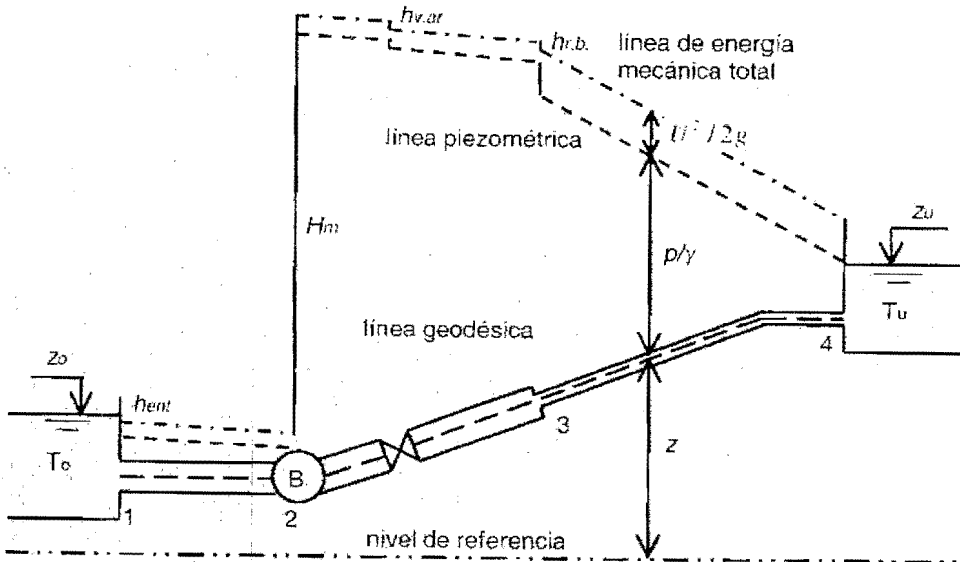


Figura 4.10. Diagrama de energía.

Si se toma un volumen de control a la entrada del tubo, como el de la figura 4.11, puede suponerse que el líquido ingresa por la sección marcada como 0-0' y lo hace con velocidades muy bajas (si la sección está lo bastante alejada de la entrada a la tubería como para que no afecte la concentración de velocidades que se produce en las proximidades de ésta). Todas las hipótesis requeridas para aplicar la ecuación de la energía número 24 se cumplen para este volumen de control; por otra parte, en cualquier punto de la sección 0-0', la energía piezométrica coincide con la elevación  $z_0$  de la superficie libre del tanque, pues la distribución de presiones es hidrostática; además la energía cinética puede considerarse nula por ser muy bajas las velocidades; por lo tanto la ecuación de la energía se reduce a:

$$z_0 - \left( z_i + \frac{p_i}{\gamma} + \frac{U_i^2}{2g} \right) = H_{f_{0-i}}$$

También puede deducirse que la línea de energía total pasa por la superficie libre del tanque y coincide en ella con la piezométrica.



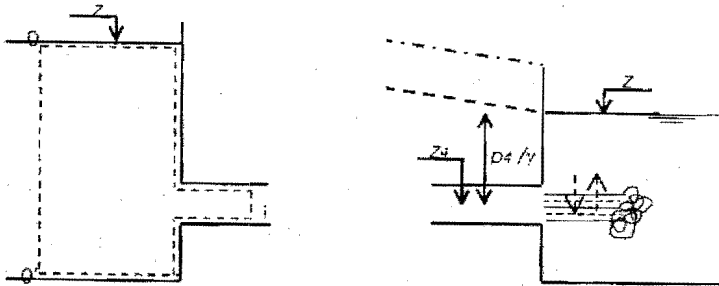


Figura 4.11. Volumen de control a la entrada de un tubo y tubo de descarga en un depósito.

En la figura 4.10 en la entrada de la tubería existe una pérdida local debido a la singularidad que supone dicho accesorio, por lo cual se observa un descenso  $h_{ent}$  de la línea de energía; la piezométrica desciende aún más porque a partir de la sección 1 la energía cinética salta de cero  $U_{1-2}^2/2g$ . Entre el punto 1 y la bomba hay un descenso gradual de la línea de energía, causado por la pérdida debido a la fricción en ese tramo. A continuación la bomba entrega al líquido una energía neta  $H_m$  llamada carga de la bomba, la cual corresponde al término de  $H_s$  de la ecuación 24; esto provoca una elevación brusca de las líneas de energía y piezométrica. En lo sucesivo, estas vuelven a descender; las pérdidas por fricción originan caídas graduales, proporcionales a las longitudes de los tramos respectivos, mientras que las pérdidas por accesorios ocasionan caídas localizadas; estas últimas se simbolizan con la letra  $h$  acompañada de un subíndice que indica el tipo de accesorios que provoca la pérdida (por ejemplo:  $h_{v.ar.}$  significa pérdida local debida a la válvula anti retorno). Al llegar al tanque  $T_U$ : a diferencia de la entrada 1, en cuyo entorno las partículas se aceleran gradualmente hasta llegar al interior del tubo, en la salida 4 el chorro penetra en el tanque y su energía cinética se disipa completamente de la forma de difusión turbulenta (figura 4.11); por otro lado, es claro que la presión en el chorro es igual a la del líquido que la rodea, dado que ésta se encuentra en reposo, dicha presión es por la ecuación de la hidrostática:

$$P_4 = \gamma(z_u - z_4)$$



si de ésta se despeja puede deducirse que la línea piezométrica llega a la superficie libre del tanque en la salida. Si además se considera que la pérdida por salida es igual a la energía cinética del chorro, se deduce que la línea de energía total vuelve a coincidir con la piezométrica en la superficie libre del tanque  $T_u$ , al igual que  $T_o$ .

$$z_u = z_4 + \frac{P_4}{\gamma}$$

Si el volumen de control se establece entre los puntos  $o$  y  $u$  de la figura 4.10, la ecuación resulta:

$$z_o - z_u = H_{f_{o-u}} - H_m \dots \dots \dots (39)$$

Otras observaciones que pueden hacerse a partir del diagrama de la figura 4.10 son las siguientes:

- Las líneas de la energía total y piezométrica son paralelas, toda vez que la sección transversal de la tubería sea constante, esto es lógico pues si el área es constante también lo será la velocidad por la ley de la continuidad y por lo tanto, el término  $U^2/2g$  permanece invariable.
- La caída de la línea de energía es más pronunciada entre menor sea el diámetro de la tubería, debido a que la pérdida es creciente con la velocidad.
- La variable de ajuste en las condiciones forzadas es la presión: el término  $z$  queda definido por el trazo vertical de la tubería, mientras que la velocidad (y por lo tanto la energía cinética  $U^2/2g$ ) queda determinada para el diámetro de la misma. El término que absorbe las pérdidas de energía y que se ajusta a los demás es el de la presión  $p/\gamma$ ; una adición de energía por una bomba es esencialmente un aumento de presión y una pérdida por fricción o por un accesorio se traduce en una reducción de la presión, es por esto que frecuentemente se habla de pérdidas de presión o caídas de presión en lugar del término apropiado de pérdidas de energía.
- Cuando la tubería es larga y la velocidad en su interior no es elevada, la energía cinética resulta muy pequeña frente a los demás términos; esto ocurre, por



ejemplo, cuando la conducción tiene algunos cientos de metros y la velocidad media es de 1 a 2 m/s, que es el rango considerado como económico; entonces puede aceptarse que:

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{U^2}{2g} \cong z + \frac{p}{\gamma} \dots\dots\dots (40)$$

Dicho de otro modo: en tales casos las líneas de energía total y piezométricas prácticamente coinciden. Esto es importante tenerlo presente ya que los cálculos pueden simplificarse.



## CAPITULO V TECNOLOGÍAS DE MEDICION

El control hidráulico es la base esencial para el suministro integral de las fuentes acuíferas para el consumo humano. Es por ello que el aforo de caudales ha sido y será un factor determinante para el desarrollo de nuevas tecnologías enfocadas a la obtención de instrumentos de medición más completos y capaces de medir el total del flujo que pasa a través de ellos.

Los medidores de flujo pueden ser considerados como una inversión, ya que pasan a formar parte del activo del organismo operador y deben seleccionarse bajo un esquema de costo-beneficio.

El aforo de un caudal se define como la obtención del gasto a través de mediciones en una sección transversal dada. Las mediciones pueden darse de manera directa (medición de gasto instantáneo) o bien, de manera indirecta (obtención del registro aplicando las fórmulas de los principios fundamentales de la hidráulica) dependiendo del instrumento que se desee utilizar.

El instrumento para la medición de un caudal determina la cantidad en peso o volumen que por unidad de tiempo pasa a través de una sección dada. La medición de los caudales es junto con la medición de la presión y del nivel, uno de los sistemas de obtención de datos más importantes para el control hidráulico.

Es importante señalar que ciertos tipos de instrumentos de medición, a pesar de ser muy precisos, sólo son utilizados como parámetros de comparación o calibración de los medidores convencionales frecuentemente usados en predios domésticos, comerciales e industriales, debido a su instalación y obtención del volumen registrado.

Los instrumentos de medición son muy variados y por lo mismo existen diferentes clasificaciones acordes a la obtención de resultados (indicados por su medida, presión o diferencias de nivel). Dicha obtención de resultados se basa directamente en el principio del funcionamiento de cada instrumento, por lo que la clasificación es la siguiente:



- Medidores de tubo de inserción: Tubo de Prandtl, Tubo de Pitot-Cole, Tubo de Pitot Simplex, Tubo de Pitot Annubar.
- Instrumentos de capacidad: Tanques volumétricos, Tanques gravimétricos.
- Medidores de áreas diferenciales: Medidor de área de paso constante, deprimógenos o de obstrucción (Tubo Venturi, Toberas), Medidor de área de paso variable o rotámetros.
- Medidores electrónicos: Medidores electromagnéticos, Medidores ultrasónicos.
- Medidores mecánicos o convencionales: Medidores de velocidad, Medidores volumétricos, Medidores compuestos.

La medición de caudales en tuberías cerradas o en canales genera información fundamental en la administración de los servicios hidráulicos. Para medir los distintos tipos de agua: Agua potable, agua residual tratada y agua negra se utilizan dos tipos de medidores, de acuerdo a su aplicación.

- a) **Medidores utilitarios.** Este tipo de medidores se utilizan para cuantificar los volúmenes de consumo de los distintos tipos de usuarios. Estos medidores generalmente se instalan en los cuadros de las tomas domiciliarias de los usuarios.
- b) **Medidores industriales.** Este tipo de medidores se utilizan para cuantificar volúmenes y caudales para coleccionar datos que permitan incrementar la eficiencia de operación de los servicios hidráulicos. Estos medidores se instalan en infraestructura hidráulica: líneas de conducción, tanques de almacenamiento, descargas de pozos, colectores de aguas negras, descargas de drenaje de usuarios, líneas de distribución de agua residual tratada, etc.

Actualmente, gracias al desarrollo de la electrónica, se maneja el concepto de sistemas integrales de medición y ya no es operativo únicamente el concepto de



medidores o medición. Con las tecnologías actuales de transductores, procesamiento digital de señales, comunicaciones, etc. se integra en un solo sistema los medidores utilitarios y los medidores auditores. De esta manera en una computadora personal se pueden observar los volúmenes de suministro a los usuarios, los volúmenes de aguas negras descargados por estos, tanto a nivel particular de un usuario como a nivel de una subzona hidráulica del sistema hidráulico.

En el siguiente diagrama se muestra una clasificación de medidores utilitarios empleados para grandes usuarios y de medidores auditores.

Medidores Utilitarios	• Medidores de velocidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medidores de paletas</li> <li>• Medidores de propela</li> <li>• Medidores de turbina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medidores de chorro único</li> <li>• Medidores de chorro múltiple</li> </ul>
	• Medidores volumétricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medidores de disco nutante</li> <li>• Medidores de émbolo o pistón oscilante</li> <li>• Medidores de pistón alternativo</li> <li>• Medidores de émbolo rotativo</li> </ul>	
	• Medidores compuestos, combinados y proporcionales		
	• Medidores magnéticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medidores bridados</li> <li>• Medidores de inserción</li> <li>• Medidor muestreador</li> </ul>	
Medidores Auditores	• Tubo Pitot	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubo Pitot Simplex</li> <li>• Tubo Pitot Annubar</li> </ul>	
	• Medidor Ultrasónico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo en tránsito</li> <li>• Efecto doppler</li> </ul>	



## 5.1. Medidores utilitarios

A todos los aparatos destinados a medir e indicar el volumen de agua que fluye a través de un conducto, se le conoce con el nombre de **medidor de agua**.

Los aparatos destinados a medir un consumo domiciliario tienen como base tres partes fundamentales:

- Un dispositivo de medida (mecanismo de medición) que, partiendo de un principio determinado, produce un movimiento en función de la cantidad de agua que fluye.
- Un dispositivo de reducción o mecanismo de transmisión (tren de engranajes) que transmite el movimiento del dispositivo de medición al registrador.
- Un registrador que va indicando acumulativamente los consumos medidos por el dispositivo de medida.

En la siguiente figura, se puede observar que el principio del funcionamiento está basado en la captación del movimiento del mecanismo de medición hacia el registrador, por medio de un tren de engranajes.

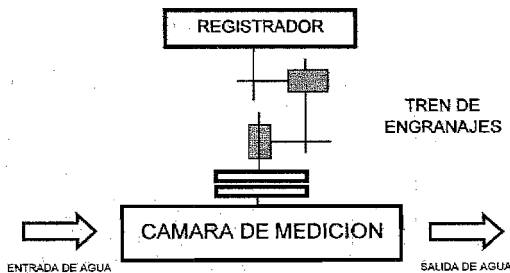


Figura 5.1. Partes fundamentales que componen a un medidor.

Cabe mencionar que existen otros tipos de medidores que no funcionan por medio de principios mecánicos como el medidor ultrasónico, que utiliza un sistema de



recepción de señales que permiten la medición del caudal, del cual se hablará en forma más extensa en el inciso 5.2.

Los componentes de los medidores varían de acuerdo a la marca, al gasto que circula por la tubería y a otros factores internos del propio medidor. La mayoría de los medidores presentan variantes en su comportamiento mecánico, ya que existen diferentes fábricas que trabajan en su construcción y mantenimiento, y por lo tanto, mejoran los componentes para reunir los requerimientos de funcionalidad y precisión conjuntas.

Como referencia, algunas marcas de medidores reconocidas a nivel nacional son las siguientes: Arad, Azteca, Badger, Bopp & Reuther, Cicasa (Delaunet), Elster, Hershy, IUSA, Metrón, Neptune, Sappel, Sensus, Yuantei, entre otros.

### **Tipos de medidores**

Los medidores comunes, como se mencionó anteriormente, presentan variantes en el funcionamiento mecánico. Los componentes que presentan una variante de estos aspectos son principalmente los mecanismos de medición y transmisión.

Debido a eso, se define como principal característica para clasificar un medidor, el tipo de mecanismo de medición que presenta, omitiendo de manera parcial, algunas otras características que se mencionarán más adelante. Considerando esto, existen dos tipos de medidores comunes que cuentan con características diferentes de funcionamiento:

- a) Medidores de corriente, inferenciales o de velocidad.
- b) Medidores de volumen, desplazamiento positivo o volumétricos.

#### **5.1.1. Medidores de velocidad**

Los medidores de velocidad son aquellos aparatos destinados a medir el consumo de agua utilizando el principio inferencial, que consiste en deducir o inferir el volumen de agua tomando como referencia el número de revoluciones que adquiere un rotor accionado por el flujo del agua.

Estos dispositivos se llaman de velocidad, porque la velocidad de la rueda es proporcionada por la velocidad del agua. El volumen de agua indicado por el





registrador del medidor, es directamente proporcional al número de revoluciones dadas por las aspas.

Los medidores de velocidad están constituidos fundamentalmente, por un rotor y un orificio, simple o compuesto, que admite el agua. De acuerdo a las características del rotor, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Medidor de paletas.
- b) Medidor de propela o hélice.
- c) Medidor de turbina.

#### **5.1.1.1. Medidores de paletas.**

Los medidores de paletas son aquellos que utilizan como mecanismo medidor un molinete (rueda con paletas) de material plástico. Su elaboración no es muy compleja y por lo mismo, presentan frecuentemente errores de precisión. Comúnmente son utilizados para casas, o bien, para industrias que tengan un diámetro interno de tubería en el cuadro menor o igual a 1.5 pulgadas (38 mm), esto no quiere decir que no existan o no sean empleados en diámetros mayores a los mencionados.

Son también conocidos como medidores tangenciales o de chorro, caracterizándose porque el agua fluye en el interior del respectivo mecanismo, perpendicular al eje del rotor.

Con base en la distribución del agua en la entrada de los medidores, se tienen dos clasificaciones particulares:

- a) Medidores de chorro único.
- b) Medidores de chorro múltiple.

Los medidores de chorro único tienen la característica de que el agua entra de manera directa a la paleta sin tener ningún direccionador, con excepción de un filtro en la entrada del medidor para retener objetos que puedan afectar de manera significativa el mecanismo medidor.

El mecanismo del medidor correspondiente está constituido fundamentalmente por los siguientes elementos:

- 1) Un rotor que es accionado por el agua.



- 2) Un pivote sobre el cual gira el rotor.
- 3) Una cámara dentro de la cual se aloja el rotor y se apoya el pivote.
- 4) Dos crucetas para regulación.

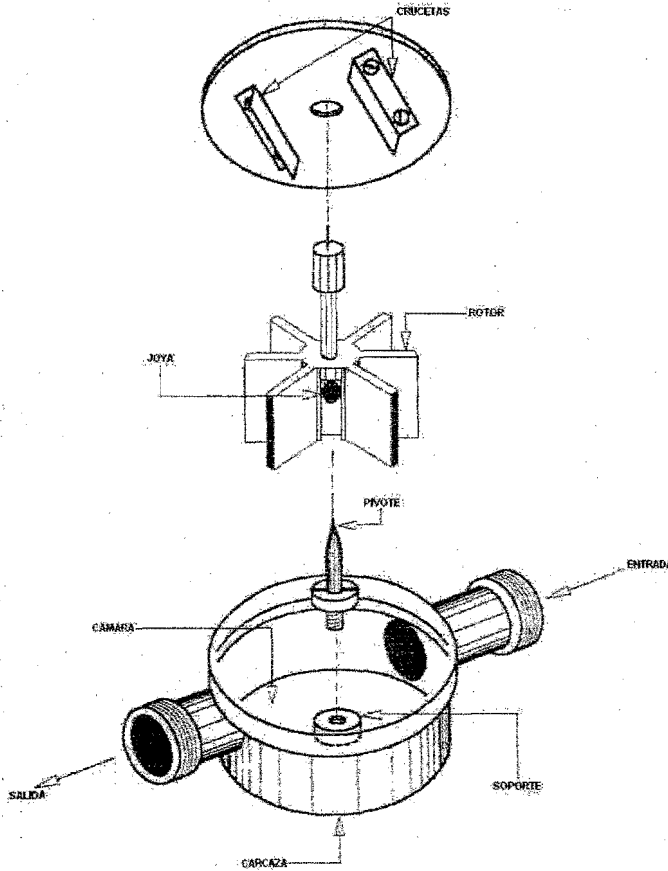


Figura 5.2. Elementos que componen el mecanismo del medidor de chorro único.

Estos medidores son de construcción simple, es por ello que presentan algunas deficiencias en su funcionamiento cuando ocurren sedimentaciones tanto en el orificio de entrada como en el rotor, provocando un incremento en la velocidad del agua y por consiguiente, alteraciones en las lecturas.



Por otra parte, los medidores de chorro múltiple accionan las paletas de la rueda en forma más regular y equilibrada que los de chorro único, logrando con esto un equilibrio de fuerzas que evitan el desgaste y la caída de los índices de precisión, con la consiguiente disminución de los volúmenes de agua no registrados, dificultando con ello, la evasión de los pagos por derecho del servicio hacia la empresa encargada de proporcionarlos.

Los elementos que integran al medidor de chorro múltiple tienen el mismo principio que los de chorro único, es decir, el rotor, el pivote, la regulación y la cámara; sin embargo, la diferencia principal entre ambos radica en que este último tiene una serie de orificios o ranuras que permiten la distribución equilibrada de las fuerzas producidas por el agua.

Un problema particular que puede presentarse en este tipo de medidor, es la posible obstrucción parcial o total de los orificios o ranuras debido a partículas extrañas en el líquido, provocando en el primer caso un aumento en la velocidad del agua y por consiguiente una alteración en el registro del caudal (sobreestimación); y en el segundo, un desequilibrio en la distribución del agua en las paletas lo que afectaría la precisión.

Con base en lo anterior, se puede concluir que el medidor de chorro único ofrece la alternativa de ser utilizado en lugares donde la calidad de agua no es muy buena; sin embargo, esta alternativa puede provocar el deterioro acelerado del mecanismo medidor, provocando la alteración de las mediciones. Por lo que, el medidor de chorro múltiple, a pesar de tener inconvenientes con la calidad del agua, ofrece mayor sensibilidad en la precisión de los registros acumulados, aunado al menor desgaste de los elementos que lo conforman.

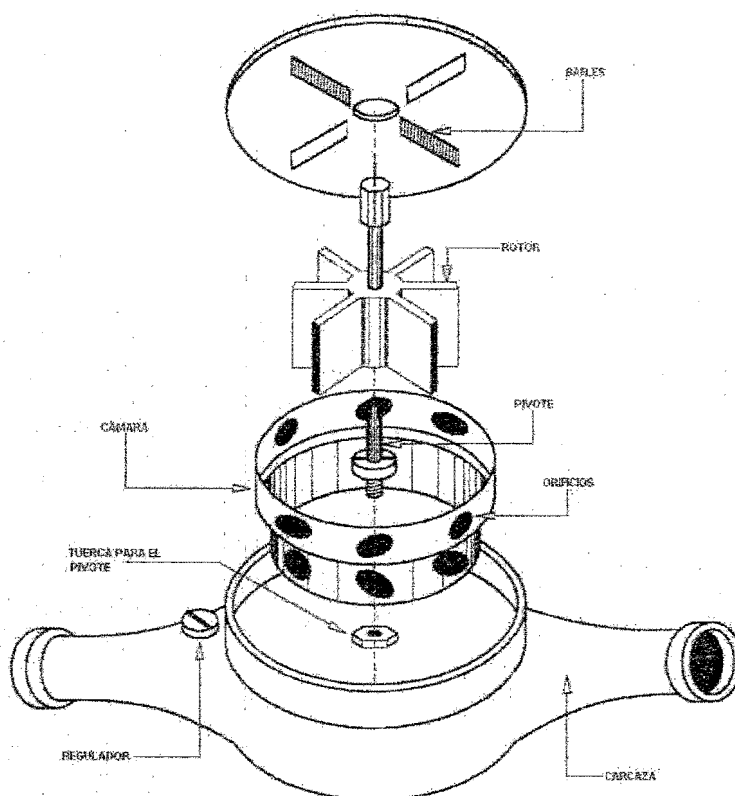


Figura 5.3. Elementos que componen el mecanismo del medidor de chorro múltiple.

#### 5.1.1.2. Medidores de propela

Los medidores de propela o de hélice son aquellos aparatos cuyo mecanismo medidor está constituido por un conjunto de paletas helicoidales montadas sobre una línea o eje axial (paralelo) al flujo del agua, para que giren libremente. La forma helicoidal de la paleta permite que las pérdidas de presión sean muy pequeñas, lo que no ocurre en las aberturas de los medidores de chorro múltiple.

Los medidores de propela son considerados casos particulares de los medidores de chorro único, debido a que tienen de igual manera la entrada libre del agua.



Estos medidores son utilizados para la medición de grandes consumos, en establecimientos industriales, edificios públicos y de apartamentos con elevada demanda de agua debido a su precisión para este tipo de gastos.

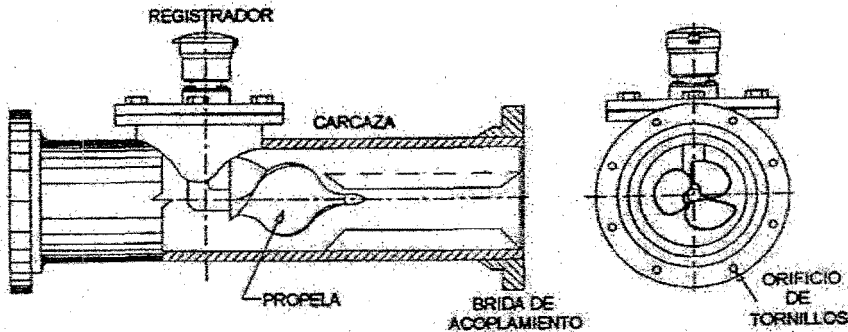


Figura 5.4. Elementos que componen el mecanismo del medidor de propela.

#### 5.1.1.3. Medidores de turbina

Los medidores de turbina son aquellos aparatos que cuentan con una rueda de turbina montada entre dos soportes asociados o unidos por una flecha central en la pared de la tubería. De igual manera, estas paletas están montadas sobre un eje paralelo a la dirección del flujo, sin embargo, el medidor cuenta con un direccionador de flujo, que permite la distribución equilibrada de la fuerza del agua con el choque de las paletas del rotor.

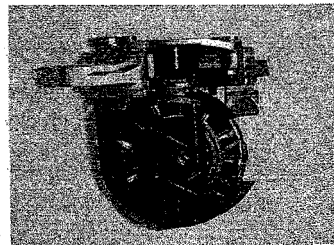
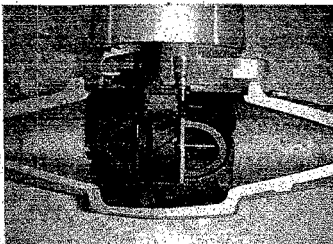


Figura 5.5. Elementos que componen el mecanismo del medidor de turbina.



Para estos medidores, es necesario la instalación de un dispositivo llamado Strainer (filtro) que permite la obstrucción de la materia extraña que pueda afectar de manera significativa a la turbina del medidor. Como es un elemento que no se encuentra dentro del medidor, es posible abrirlo periódicamente para limpiarlo y tenerlo libre de impurezas. Además este dispositivo mejora las condiciones de flujo a la entrada del medidor, permitiendo una distribución de fuerzas más equilibrada.

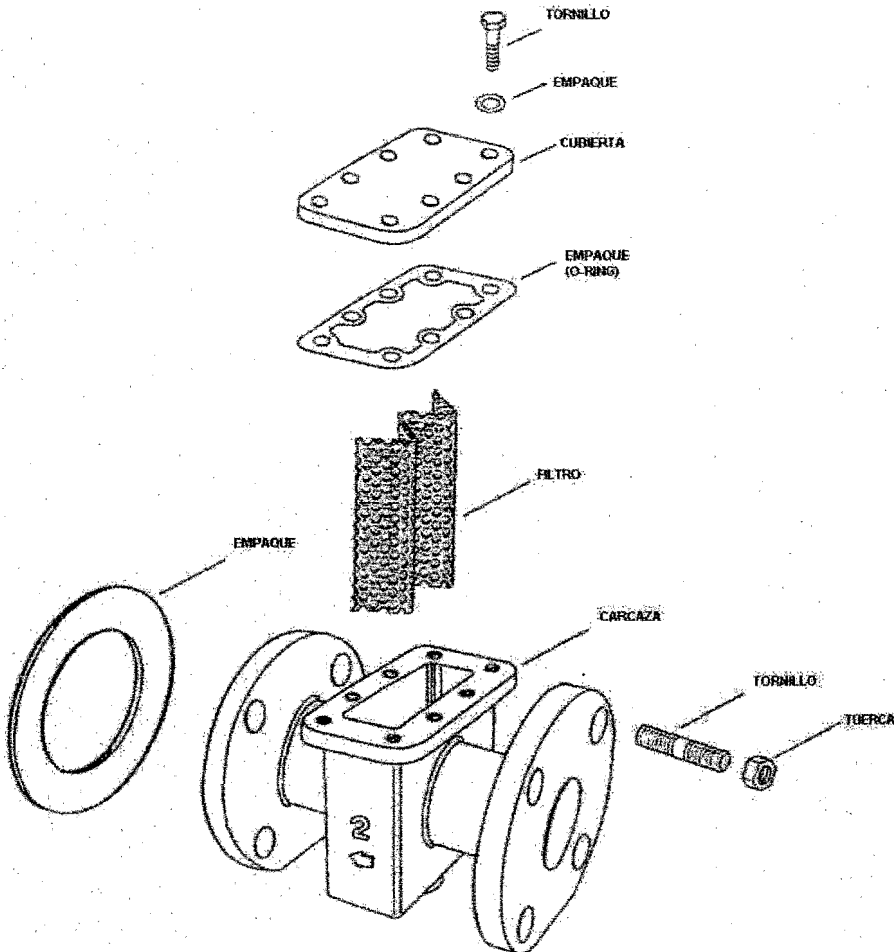


Figura 5.6. Elementos que componen el mecanismo del Strainer.



Con regularidad, estos mecanismos de medición son utilizados para grandes consumos de agua debido a que posee, al igual que los medidores de propela, una variedad de tamaños según el diámetro de la tubería en la cual son instalados. Además, según las especificaciones de los fabricantes, pueden ser extremadamente exactos cuando se calibran periódicamente, con una pérdida de carga moderada, decreciendo cuando se tienen medidores de mayores dimensiones.

Algo que caracteriza y además es una falta intrínseca de los medidores de corriente es que no son sensibles a pequeños flujos de agua, lo cual significa que para aquellos gastos donde el agua no pueda circular a una presión mínima de diseño, el medidor podrá sufrir alteraciones de medición, debido a que el agua tiene que obtener suficiente velocidad para vencer las resistencias por fricción presentadas por los elementos constitutivos del mecanismo (rotor, engranajes, etc.). Estas alteraciones se reflejan en la submedición del caudal, permitiendo al usuario disminuir el tirante del flujo con una válvula, y dejar llenar una cisterna a base de un pequeño chorro de agua para evitar los pagos correspondientes.

Para corregir la falta de detección de flujos bajos existen los medidores compuestos, que serán detallados más adelante.

Es por ello, que los medidores de velocidad deben usarse cuando se presentan grandes caudales y por tanto, si se desea medir todo el consumo no deben ser colocados en servicios donde exista la posibilidad de pequeños gastos a través del medidor.

Por el contrario, una de las grandes objeciones presentadas en contra del medidor de velocidad es su tendencia a la sobrerregistro. Cuando se adhiere sedimento en las paletas de la rueda del medidor, decrece el área seccional entre las paletas y por consiguiente, aumenta la velocidad de la rueda, cada vuelta depende de la velocidad del agua que pasa a través de las aberturas de las paletas. Estas anomalías pueden ser controladas y fácilmente eliminadas con inspecciones y pruebas anuales, como mínimo, de todos los medidores de corriente, o de aquellos los cuales estén compuestos en parte por éstos.



Los medidores de velocidad deben ser instalados horizontalmente, para proteger al medidor de la obstrucción con sedimentos y asegurar perfiles de flujo adecuados es recomendable instalar un filtro aguas arriba del medidor, a una distancia mínima de 5 diámetros de tubería recta; de igual manera, se debe tener un tramo mínimo de 5 diámetros de tubería recta aguas abajo del medidor.

Los elementos mínimos con los que debe contar el arreglo del cuadro son: una válvula mariposa a la entrada seguida de un filtro y un carrete eliminador de turbulencias, posteriormente debe instalarse el medidor de velocidad, enseguida viene un carrete separador o de instrumentación y finaliza con una válvula mariposa. Debido a que estos medidores requieren mantenimiento constante, es recomendable que antes y después de las válvulas mariposa se suelde un cople con una válvula de compuerta para operar una derivación que asegure el suministro de agua potable al usuario al momento de realizar el cambio o mantenimiento del medidor.

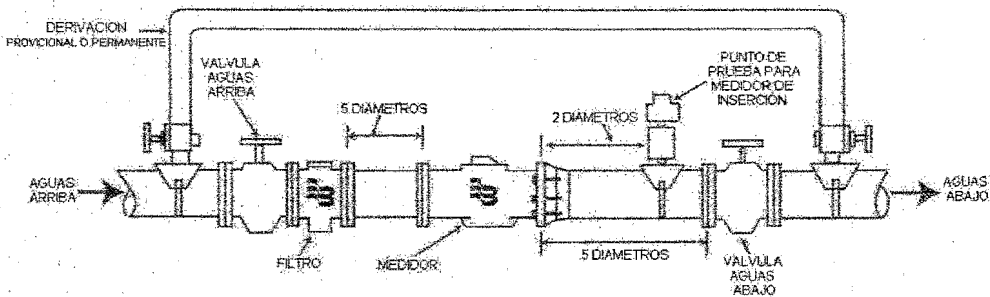


Figura 5.7. Especificación para instalación de medidores de velocidad.

### 5.1.2. Medidores volumétricos

Los medidores de desplazamiento positivo o volumétricos son aparatos que difieren de los medidores inferenciales, en el funcionamiento del mecanismo de medición empleado. Este mecanismo basa su medición en el número de veces en que es llenada una cámara de volumen determinado. Un mecanismo apropiado permite transmitir continuamente el movimiento de la pieza móvil (disco o pistón) de la cámara, a un sistema de transmisión.





Los medidores de desplazamiento positivo están particularmente bien adaptados para aplicaciones que requieren alta precisión sobre velocidades de flujo ampliamente divergentes con relativamente poca pérdida de carga por el medidor. El nombre de medidores de desplazamiento positivo se debe a que se hace referencia al movimiento del elemento medidor (disco nutante o pistón oscilatorio) del flujo, el cual desplaza o "impulsa" un volumen específico por cada ciclo. Este desplazamiento del elemento móvil divide permanentemente la cámara por lo menos en dos compartimientos, uno de llenado y otro de vaciado, verificándose el flujo del agua en el mismo sentido en que sucede el movimiento del elemento (nutación, oscilación, revolución o carrera).

Los movimientos del pistón en varios diseños, han causado la subdivisión de los medidores de desplazamiento positivo, por lo que estos medidores se clasifican de acuerdo al movimiento del elemento móvil de medición de la siguiente manera:

- a) Medidores de disco nutante o nutativo.
- b) Medidores de émbolo o pistón oscilante.
- c) Medidores de pistón alternativo.
- d) Medidores de émbolo rotativo.

En cada tipo de medidor, el volumen desplazado por el elemento móvil en el recorrido de un ciclo de funcionamiento es constante, y cada volumen subsecuente desplazado es igual a los ciclos anteriores, siempre y cuando este ciclo sea completado. Al contar los ciclos de funcionamiento y multiplicar el total del volumen constante establecido por ciclo, es posible determinar la cantidad de líquido que ha pasado por el medidor.

Los ciclos son convertidos a movimiento rotativo por el eje del elemento de medición, de esta forma, el conteo consiste en sumar esos ciclos. El medidor y el mecanismo de transmisión ejecutan la multiplicación necesaria, siendo el resultado una lectura de registración total, directamente en las unidades de medición deseadas: metros cúbicos, galones, pies cúbicos, etc.



### 5.1.2.1. Medidores de disco nutante

Los medidores de disco nutante son los más usados universalmente de todos los medidores de desplazamiento positivo. Estos medidores constan de una cámara con secciones de forma esférica, con dos aberturas laterales separadas por una pared. En su interior hay un disco circular que se mueve con el paso del agua. La extremidad del punto más alto colocado en el centro del disco en una fase superior describe un movimiento circular que es transmitido por los mecanismos de transformación y marcación del aparato.

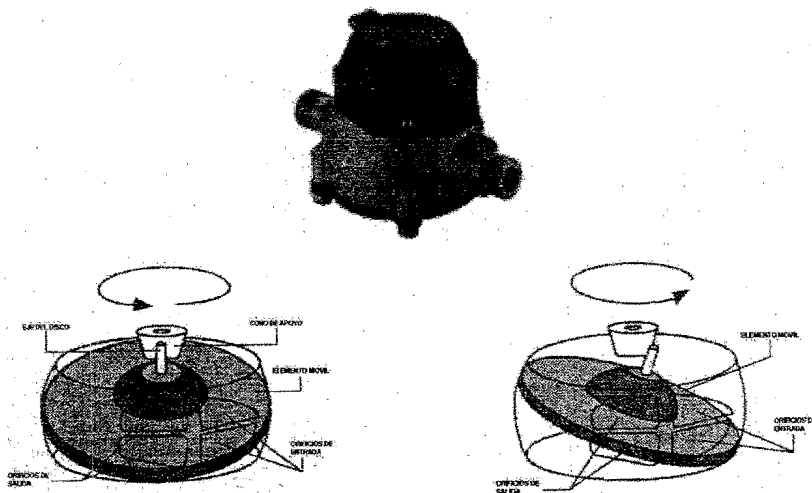


Figura 5.8. Medidor de disco nutante y elementos que componen su mecanismo de medición.

El principio de estos medidores combina excelente precisión a largo plazo con integridad en diseño y fabricación, sin embargo, su funcionalidad depende fuertemente, de la calidad de agua suministrada por el conducto. Esto quiere decir, que si el agua presenta partículas extrañas podría ocasionar una obstrucción total del medidor, provocando la inmediata reparación del aparato.



### 5.1.2.2. Medidores de émbolo oscilante

Los medidores de émbolo o pistón oscilante poseen una cámara cilíndrica con dos aberturas, una en el fondo para la entrada del agua y otra en la parte superior o tapa para la salida, separadas en proyección vertical por una pared. Una pieza menor también en forma cilíndrica con una lámina lateral que se encaja en la pared, se mueve con el paso del agua, proporcionando llenados y vaciados de espacios relativos que se forman en el interior de la cámara.

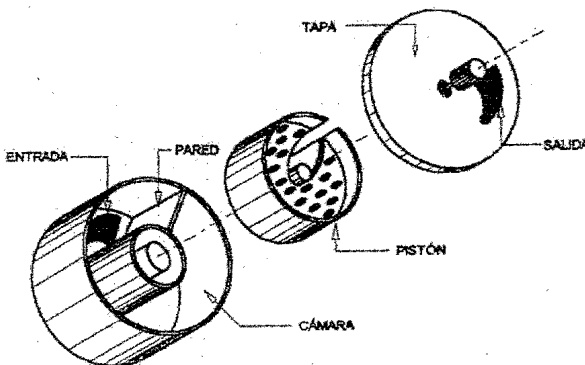


Figura 5.9. Elementos que componen el mecanismo del pistón oscilante.

El movimiento obtenido con este mecanismo presenta tres características fundamentales:

- Tiene un movimiento periódico.
- En cada periodo se barre el volumen del cilindro grande.
- El centro del pistón da una revolución completa por cada oscilación.

Es decir, reúne las condiciones esenciales que requieren los mecanismos de medida.

### 5.1.2.3. Medidores de pistón alternativo

Los medidores de pistón alternativo son aparatos que llenan y vacían un cilindro y transforman el movimiento de vaivén en una rotación por medio de un sistema de biela y manivela. Este mecanismo de medida fue utilizado en los primeros medidores producidos en Norteamérica, a mediados del siglo pasado.

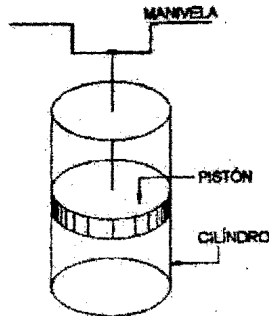


Figura 5.10. Elementos que componen el mecanismo del pistón alternativo.

#### 5.1.2.4. Medidores de émbolo rotativo

Los medidores de émbolo rotativo poseen como elemento móvil, una rueda en forma de tambor cilíndrico provista de aspas que se desalojan radialmente, colocado excéntricamente en una cámara cilíndrica. El movimiento de rotación que le imprime la diferencia de presiones entre la entrada y la salida agranda el espacio de aquella y reduce el de esta y viceversa, originándose así un desplazamiento continuo del agua.

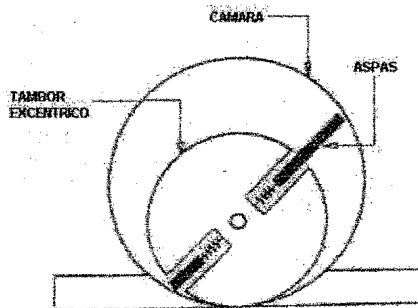


Figura 5.11. Elementos que componen el mecanismo del émbolo rotativo.

De los cuatro mecanismos mostrados, solamente los de disco nutante y de pistón oscilante se emplean actualmente en el diseño de medidores; los otros dos han sido discontinuados por distintas razones y tienen únicamente un interés histórico.

De los medidores volumétricos que se utilizan en la actualidad, se puede afirmar que el disco nutante es el que representa mayores ventajas tales como:



simplicidad de construcción, sensibilidad continua, baja pérdida de carga, facilidad de mantenimiento y bajo costo.

De manera general, los medidores volumétricos operan a base de un desplazamiento positivo del agua; por lo tanto, teóricamente, con cualquier flujo debe entrar en funcionamiento su elemento móvil, lo cual da origen a la sensibilidad y precisión que los distingue. En la práctica esta ventaja se encuentra limitada, primero por las tolerancias en los espacios de separación y segundo, por el desgaste que sufren las piezas al trabajar. Pero en todo caso, la sensibilidad a flujos bajos y la precisión, son características de ellos.

Los medidores volumétricos pueden ser instalados en posición vertical, horizontal, o inclinada, respetando sus rangos de precisión. Los elementos mínimos con los que debe contar el arreglo del cuadro son: en la entrada una válvula macho de paso completo, le sigue el medidor volumétrico, posteriormente tiene una conexión tee y en ésta se instala una llave de manguera y finaliza con una válvula de compuerta.

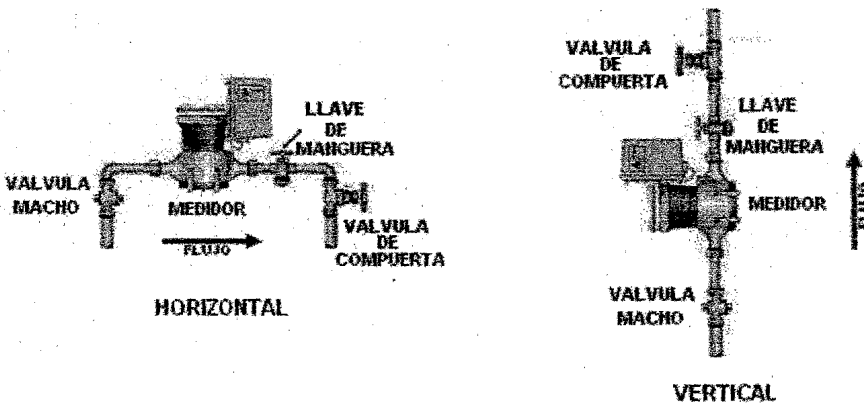


Figura 5.12. Especificación para instalación de medidores volumétricos.



### **5.1.3. Medidores compuestos, combinados y proporcionales**

Existen medidores que utilizan ambos principios de medida, el inferencial y el volumétrico. El principio básico muestra que para grandes gastos, el medidor de velocidad se activa de tal forma que de paso a la gran cantidad de agua que fluya; mientras que para flujos reducidos, el medidor volumétrico se activa de tal manera que capta hasta el valor mínimo del caudal. Según lo anterior, se identifican dos tipos de medidores:

- a) Medidores compuestos y combinados.
- b) Medidores proporcionales.

#### **5.1.3.1. Medidores compuestos y combinados**

Los medidores compuestos y los medidores combinados son aquellos que como lo indica su nombre tienen una combinación de los medidores volumétricos y los de velocidad, dentro de un mismo mecanismo. Sirven para medir los patrones de suministro que presentan gastos altos y bajos representativos.

Cuando el gasto aumenta, se abre automáticamente una válvula permitiendo de esta manera, una baja pérdida de carga. Este tipo de medidores combinan los méritos y características de ambos medidores de los cuales están compuestos y su operación no ofrece ninguna dificultad una vez que se está familiarizado con las características de cada uno.

La diferencia que existe entre estos dos tipos de medidores es que los medidores compuestos son productos de línea con características estándar, mientras que los medidores combinados son diseñados de manera específica para la aplicación que requiera el usuario.

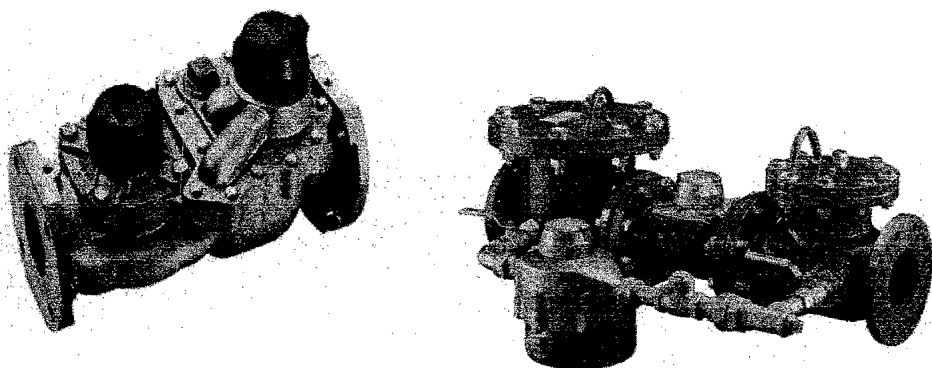


Figura 5.13. Medidor compuesto y medidor combinado.

#### 5.1.3.2. Medidores proporcionales

Los medidores proporcionales derivan su nombre del hecho de que una parte proporcional del flujo a través del medidor, pasa por un medidor en derivación, el cual es prácticamente el instrumento de medición. En otras palabras, consiste en derivar parte del agua por un "by pass" provisto de un medidor pequeño. Este medidor pequeño o en derivación es generalmente un medidor de desplazamiento positivo. Es frecuentemente empleado en el abastecimiento de agua de naves industriales, irrigación y líneas de incendio.

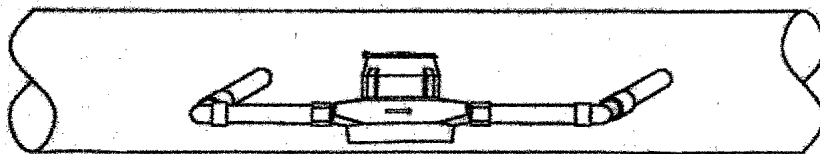


Figura 5.14. Medidor proporcional.



#### 5.1.4. Medidores magnéticos

Se denominan medidores magnéticos debido a que aprovechando el principio de inducción magnética, calculan la velocidad del agua en una tubería y el volumen de agua que pasa por ahí durante un determinado tiempo, y luego mandan una señal digital que se puede leer fácilmente en la pantalla del aparato.

El principio de operación del medidor magnético de flujo se basa en la ley de inducción magnética de Faraday, que consiste en crear una corriente eléctrica en un conductor que se mueve a través de un campo magnético, el voltaje inducido a través de cualquier conductor, a medida que se desplaza en dirección perpendicular a un campo magnético, es proporcional a la velocidad de ese desplazamiento. El voltaje inducido por el fluido se mide con dos electrodos montados en posiciones diametralmente opuestas. El voltaje inducido por la señal resulta proporcional a la densidad de la corriente magnética, la distancia entre los electrodos y la velocidad de flujo promedio del fluido.

La ecuación de Faraday para la inducción magnética es la siguiente:

$$E = \frac{1}{c} BVD$$

donde:

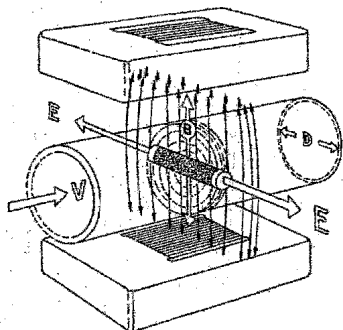
$E$ : voltaje inducido por el agua que circula dentro del campo magnético del aparato hacia los electrodos

$B$ : densidad del campo magnético

$V$ : velocidad del líquido

$D$ : diámetro interno del equipo

$c$ : constante adimensional



El volumen instantáneo o gasto de agua que pasa por ahí es igual a la velocidad promedio del agua multiplicada por el área de la sección transversal del tubo, es decir:





$$Q = A \times V$$

donde:

Q: gasto del flujo

A: área transversal de la tubería

V: velocidad del flujo.

Entonces, mientras más voltaje sea inducido en el aparato registrador, significa que está circulando más agua.

El principio electromagnético es el más indicado para la medición de flujo en líquidos, lodos y pastas que presenten una conductividad eléctrica mínima, si se emplea en líquidos que puedan llevar partículas magnéticas la precisión del equipo es afectada. El fluido puede circular a través del medidor sin generar ninguna pérdida de presión adicional ya que no se tiene ningún componente en el interior de la tubería que obstruya el flujo.

La medición del flujo es independiente de la densidad, temperatura y presión del fluido.

Dentro de los equipos que utilizan este principio de operación se encuentran los medidores electromagnéticos bridados, los medidores electromagnéticos de inserción y los muestreadores electromagnéticos.

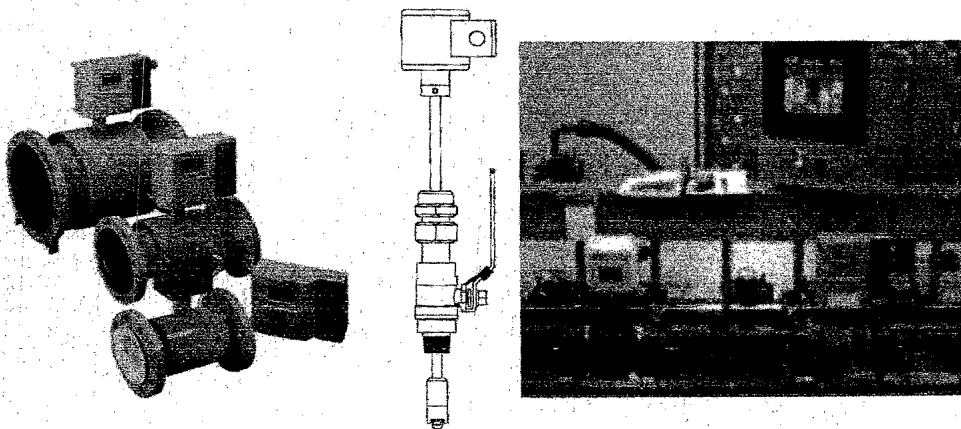


Figura 5.15. Medidores magnéticos bridados, de inserción y muestreadores.



El medidor magnético típico consta de dos componentes principales: el cuerpo del medidor, que va montado directamente sobre la tubería, y los accesorios electrónicos, los cuales dependiendo del modelo pueden estar unidos al medidor o estar alejados de él. Estos medidores pueden ser leídos directamente en campo, o en otro sitio si se les provee de los dispositivos apropiados para reenviar las señales a otro lugar, y puede ser vía telefónica, radio, cableado directo o correo electrónico.

Asimismo, si se requiere un monitoreo minucioso y frecuente, no es necesario que alguien esté visitando el sitio, leyendo y anotando las lecturas, se puede emplear un dispositivo electrónico autónomo de adquisición de datos "data logger", que puede adosarse al medidor para recibir y almacenar los datos.

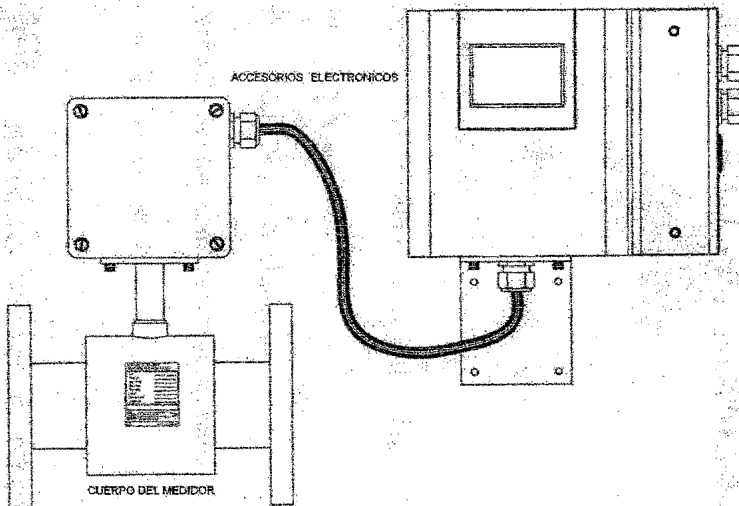


Figura 5.16. Componentes principales del medidor magnético típico.

En cuanto a la instalación de este tipo de medidores, pueden ser en posición vertical, horizontal, o inclinada, respetando sus rangos de precisión, pero se deben considerar las siguientes indicaciones:

- Es necesario asegurarse que el sensor siempre quede totalmente cubierto con el líquido, y el sentido del flujo debe corresponder con el indicado por la flecha del sensor.



- En tramos de tubería horizontal, los electrodos deben estar en un plano horizontal, para prevenir que se pierda contacto en los electrodos por los sedimentos, o por burbujas de aire.
- En tramos de tubería vertical, el flujo debe ser ascendente.
- Para lograr precisiones apropiadas, cualquier codo de 90 o 45 grados, estrechamientos, válvulas parcialmente abiertas, etc. deben ubicarse a no menos de 10 diámetros aguas arriba, y a dos diámetros aguas abajo.

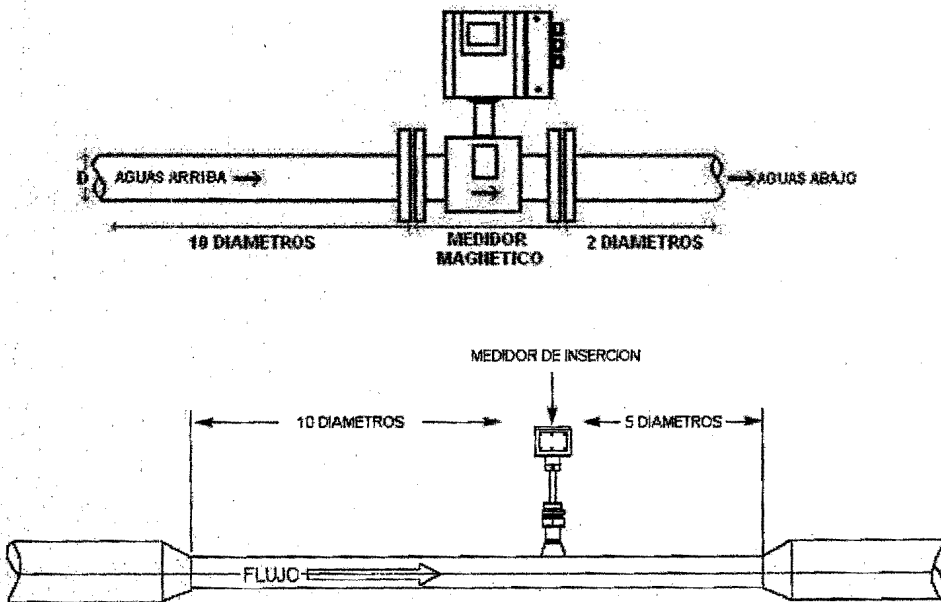


Figura 5.17. Especificación para instalación de medidores magnéticos.

Las ventajas que posee este tipo de medidor son las siguientes:

- No posee partes móviles en contacto con el agua.
- Pérdida de carga mínima.
- Requiere una pequeña longitud de tramo recto aguas arriba, normalmente un mínimo de 5 diámetros, es solicitado por el fabricante.



- La señal de la salida de un medidor magnético es lineal con el caudal, lo que simplifica los circuitos de generación de señales, en comparación a los medidores de presión diferencial.
- Rango bastante amplio y variable, pudiendo regularse de 0-0.5 a 0-13 m/s.
- Error de  $\pm 0.5\%$  entre 100 y 50% del rango de medición del equipo (para velocidades mayores o iguales a 1 m/s, y error que aumenta progresivamente entre 50 y 10% hasta alcanzar  $\pm 1\%$  a 10% de la escala.
- Tiene aplicaciones tanto en agua limpia como en aguas residuales.
- Puede tener diferentes tipos de recubrimiento en su interior, para resistir diferentes tipos de abrasión o corrosión. Adecuado a diferentes tipos de industrias.
- Apropriados para grandes diámetros y también para diámetros pequeños.
- Salidas de datos en diferentes formatos (analógico, pulsos o digital), y fácil transmisión y procesamiento de sus señales por medios electrónicos.

Las principales desventajas son:

- Mayor costo inicial.
- Necesidad de mano de obra especializada para su instalación, calibración y mantenimiento.
- Requiere cuidados con respecto a las fuentes de energía externa que pueden provocar distorsiones en la operación normal del equipo.
- Necesidad de mantenimiento periódico en los electrodos, pues las partículas metálicas que son arrastradas por el agua se van depositando allí y, después de algún tiempo, interfieren en la medición. Este efecto puede minimizarse evitando las bajas velocidades y empleando revestimientos adecuados.



### 5.1.5. Sistemas de información

Para incrementar las eficiencias del servicio hidráulico obteniendo beneficios que conlleven al mejoramiento de las redes de suministro, de tal manera que haya una distribución justa y equitativa del agua, que junto con el pago de derechos por el uso del servicio coadyuve al racionamiento de la misma, es necesario contar con una administración correcta, no se puede administrar lo que no se mide, por esta razón, además de medir apropiadamente, se requiere contar con sistemas de información que permitan recabar los consumos medidos, a fin de procesar la información eficientemente.

Los distintos equipos de medición proveen datos, que se convierten en información esencial para los organismos operadores responsables del servicio hidráulico, puesto que con base a la información que proporcionan se toman decisiones en la planeación, operación, control y gestión del sistema y servicios hidráulicos, por ello, no se debe medir por medir, se requiere saber que se debe medir, por qué se va a medir, cómo se va a medir y cada cuándo se va a medir, con la finalidad de seleccionar e instalar equipos adecuados que generen datos útiles para la administración de los servicios. Una vez obtenidos los datos, se deberá contar con éstos en los formatos y/o presentación requeridos de manera que sean entendibles; asimismo, deben estar disponibles en el momento que se necesitan o solicitan para la toma correcta de decisiones, ya que proveer un dato incorrecto o con un retraso de tiempo (Días? Semanas? Meses? etc.) ya no es requerido para la operación del sistema hidráulico.

Observando la relevancia de la información en la administración de los servicios hidráulicos, actualmente se dispone de diferentes sistemas de información considerando el desarrollo tecnológico de las comunicaciones, del hardware y en general de la electrónica, del software y de la variedad de costos disponibles. Los sistemas de información son una inversión y pasan a formar parte de los activos de los organismos operadores, su selección y uso siempre debe definirse en términos de costo/beneficio.



Existen básicamente tres tipos de sistemas de información a aplicar para la colección y procesamiento de datos provenientes de campo:

- |  |   |   |
|--|---|---|
| 1. Sistema de lectura automática                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Toque</li> <li>• Telefonía alámbrica</li> <li>• Red fija</li> <li>• Radiofrecuencia al paso</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Unidireccional</li> <li>• Bidireccional</li> </ul> |
| 2. Sistema de control supervisorio y de adquisición de datos |   |   |
| 3. Telegestión   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lecturas</li> <li>• Control</li> </ul>   |   |

#### 5.1.5.1. Sistemas de lectura automática

El sistema está conformado por hardware y software:

- |          |   |
|----------|---|
| Hardware | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Registro del medidor con salida de pulsos o de contactor</li> <li>• Módulo de lectura automática del medidor</li> <li>• Lector portátil para la colección de lecturas</li> </ul> |
| Software | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Software de administración de rutas y lecturas</li> </ul>  |

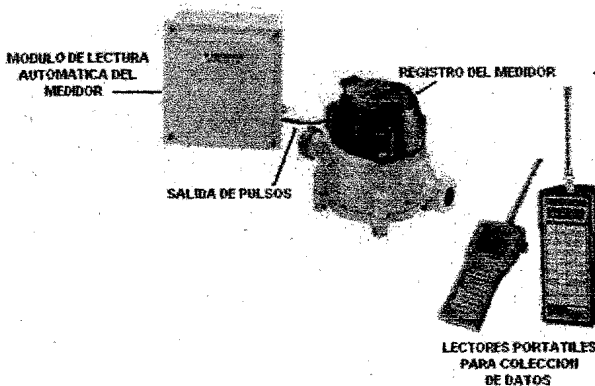


Figura 5.18. Elementos de un sistema de lectura automática.



El sistema de administración de rutas y lecturas es una interfase entre el hardware de lectura automática de campo y el sistema comercial que entre otras funciones, emite la facturación de consumos. Para el caso de los sistemas de toque y radiofrecuencia, genera las rutas y audita el desempeño de los lecturistas.

En el sistema de lectura automática, el registro del medidor cuenta con una salida de pulsos de voltaje o cuenta con un contactor (que abre y cierra un circuito eléctrico en función de un volumen de suministro determinado) que se conecta al módulo de medición del cual se toma la lectura con un lector portátil que almacena los datos, posteriormente éstos pueden ser recuperados por una computadora para procesarlos.

Estos sistemas fueron creados con el objeto de incrementar la eficiencia en la lectura de volúmenes de consumo de los distintos usuarios del servicio hidráulico.

Dentro de sus características principales se encuentran:

- Reducción de tiempos para la toma de lecturas.
- Eliminación del acceso al predio del usuario por parte del lecturista.
- Eliminación de la interacción entre el usuario y el lecturista.
- Eliminación de errores en la lecturas de volúmenes en sitio y en la captura de estos datos en el sistema comercial.
- Supervisión automática del desempeño de lecturistas: fecha, hora y tipo de lectura (visual o automática) de cada medidor.
- Emisión automática de alarmas por consumos no previstos en el lector portátil y en el sistema de administración de lecturas.
- Los sistemas de este tipo deben incluir lecturas de medidores en fuentes de abastecimiento, líneas de conducción y distribución.

Actualmente son un elemento esencial en el balance hidráulico por sectores, obteniendo de manera dinámica los volúmenes de consumos domésticos, comerciales e industriales en la zona de estudio.



### 5.1.5.1.1. Sistema de toque.

- El lectorista utiliza un lector portátil al que se conecta el bastón lector.
- Del software de administración de rutas y lecturas se carga la ruta de lecturas al lector portátil.
- El lectorista efectúa las lecturas de su ruta acercando el bastón al módulo del medidor (receptáculo).
- Una vez concluida la ruta de lecturas, se descargan los datos del lector portátil al software de administración de rutas y lecturas.
- Del software de administración de rutas y lecturas los datos son transferidos al sistema comercial.

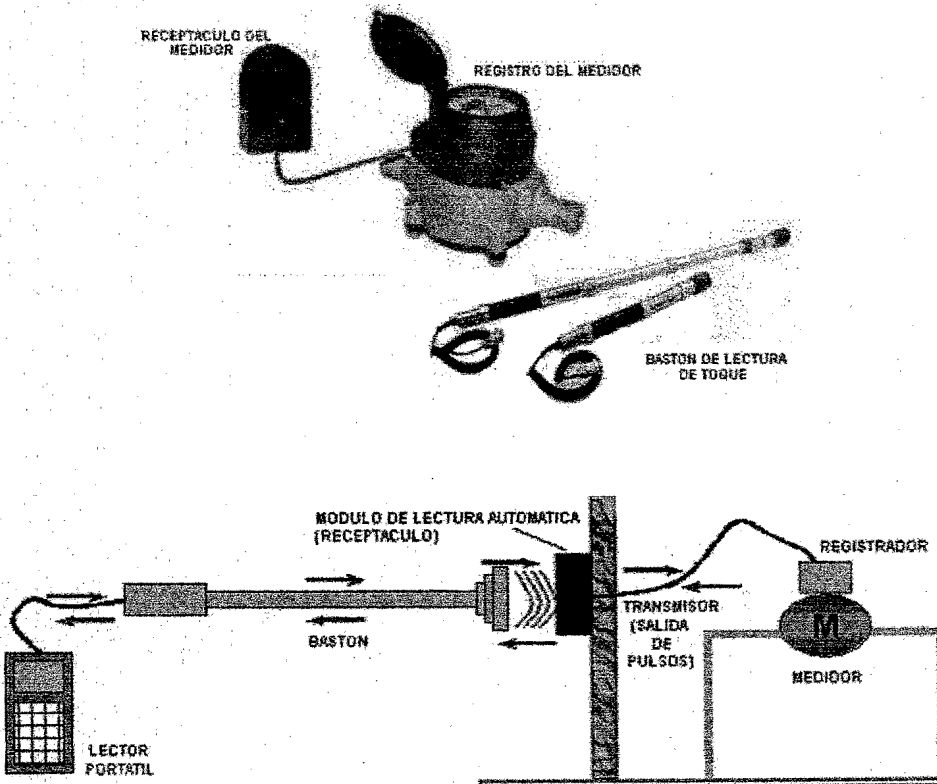


Figura 5.19. Sistema de lectura por toque y sus elementos.





#### 5.1.5.1.2. Sistema de telefonía alámbrica

- Requiere el uso de una línea telefónica alámbrica.
- El módulo del medidor se programa para, que en horas de baja demanda del uso de la línea telefónica, efectúe una llamada telefónica a la computadora central (que cuenta con el software de administración de rutas y lecturas). En esta llamada se envían los datos número de serie del medidor, volumen, estado del sistema.
- Del software de administración de rutas y lecturas, se envía la información al sistema comercial.
- Es un sistema que no requiere de letrados.

#### 5.1.5.1.3. Sistema de radiofrecuencia

El hardware del sistema incluye:

- **Módulo integral del medidor.** Es la unidad del radio que está alojada en una caja junto al registro del medidor, no presenta cables visibles.
- **Módulo remoto del medidor.** Unidad de radio que se conecta con el registro del medidor a través de un cable. Esta unidad se utiliza generalmente cuando el medidor se localiza en un sótano y el enlace radioeléctrico no se puede realizar, entonces, el módulo de radio se instala en un sitio donde sí existe el enlace y la conexión entre éste y el registro del medidor se efectúa mediante un cable.
- **Módulo para caja registro del medidor.** Cuando el medidor se instala por debajo del nivel del suelo en una caja o registro, tanto el medidor como el registro y el módulo deben soportar condiciones de sumergencia que impidan el daño de la electrónica de los equipos. En estas aplicaciones es cuando se utiliza este tipo de módulo.
- **Lector portátil.** Este equipo es pequeño, se ajusta al tamaño de las manos para realizar las lecturas que son secuenciales, es un equipo complementario al equipo móvil. En las grandes ciudades, donde existen



grandes concentraciones de medidores con radiofrecuencia, se utiliza este equipo en sitios donde la unidad móvil no tiene acceso.

- **Lector móvil.** Está conformado por una computadora portátil tipo Laptop y una unidad de radiofrecuencia, este equipo es montado en un vehículo y efectúa lecturas de manera paralela.

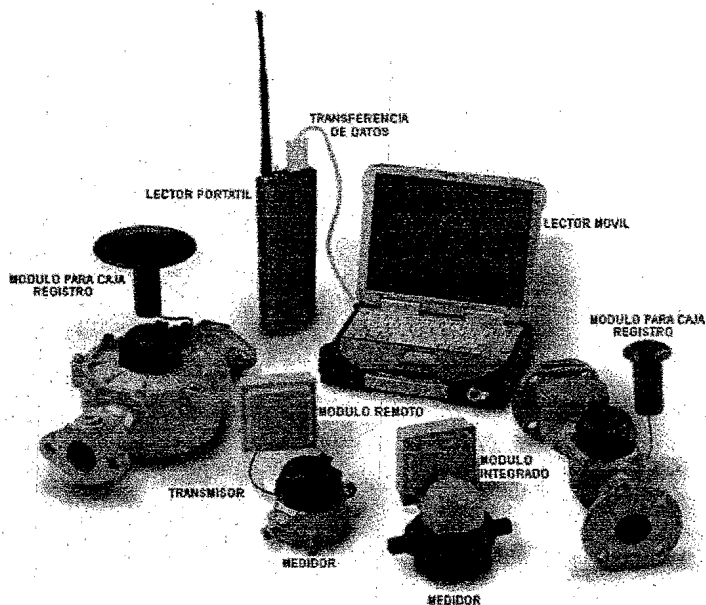


Figura 5.20. Elementos del sistema de radiofrecuencia.

Existen dos tipos de sistemas: el unidireccional (modo burbuja) y el bidireccional. En el **sistema de radiofrecuencia modo burbuja o unidireccional**, el módulo del medidor envía una cadena de datos, mediante una señal radioeléctrica, al espacio, periódicamente (rangos de segundos). Los datos mínimos que se envían son: número de serie del medidor, volumen, estado del sistema; al pasar el lectorista con el lector portátil colecta los datos.

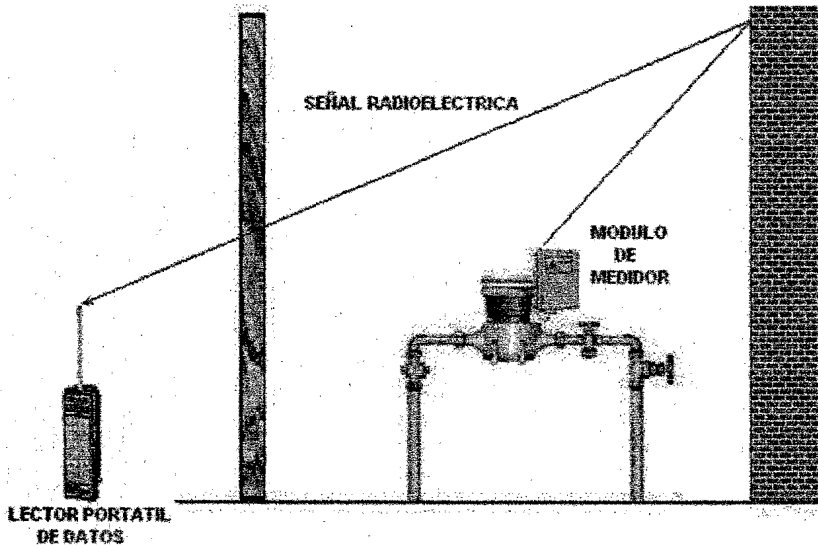


Figura 5.21. Sistema de radiofrecuencia unidireccional.

Por otra parte, en el **sistema de radiofrecuencia bidireccional**, el lectorista envía, a través del lector portátil un mensaje radioeléctrico, con el número de serie del medidor a leer. El módulo del medidor opera en estado "dormido" (por un periodo corto de tiempo, generalmente milisegundos) y pasa a estado "despierto" (por un periodo corto de tiempo, generalmente milisegundos). En estado despierto recibe el mensaje radioeléctrico que interroga por el número de serie. Si es el número de serie del medidor en cuestión, el módulo envía una señal de retorno con el numero de serie del medidor, volumen y estado del sistema.

La figura 5.22 muestra como el lector portátil envía la señal interrogando por el número de serie del medidor en el sistema de radiofrecuencia bidireccional; el módulo del medidor en modo despierto envía los datos del medidor al lector portátil cuando éste último interrogó por el número de serie del módulo del medidor.

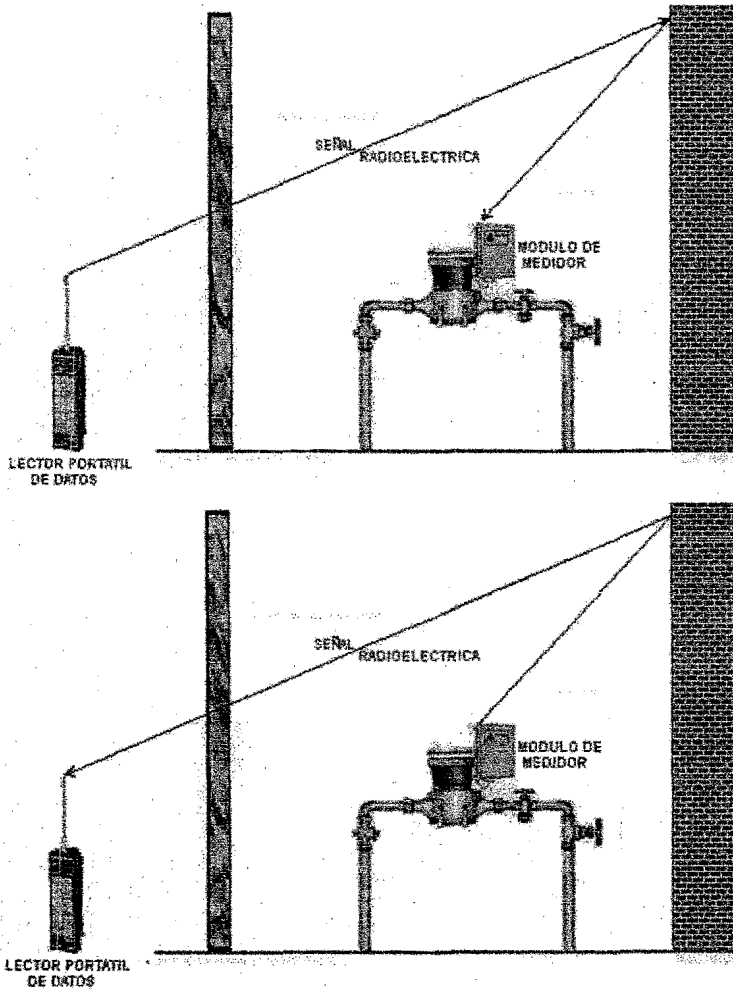


Figura 5.22. Sistema de radiofrecuencia bidireccional.

En ambos sistemas, en oficinas centrales, del sistema de administración de rutas y lecturas se carga una ruta al lector portátil o móvil.

Con el lector portátil o móvil se realizan las lecturas de medidores contenidas en la ruta y se descargan al software de administración de rutas y lecturas.

Del software de administración de rutas y lecturas los datos son enviados al sistema comercial.



#### 5.1.5.1.4. Sistema de red fija

- El módulo del medidor envía de manera periódica, mediante una señal radioeléctrica, el número de serie del medidor, volumen y estado del sistema.
- La señal es recibida por un concentrador que recibe los datos de los medidores que se encuentren localizados en un radio entre 500 a 1000 m aproximadamente.
- El concentrador se instala en postes del servicio público de iluminación o telefónico o en azoteas de edificios públicos.
- Este concentrador envía los datos de todos los medidores al software de administración de rutas y lecturas localizado en estación central, de manera alámbrica o inalámbrica, de ahí, son reenviados al sistema comercial.
- Es un sistema que no requiere de lecturistas.

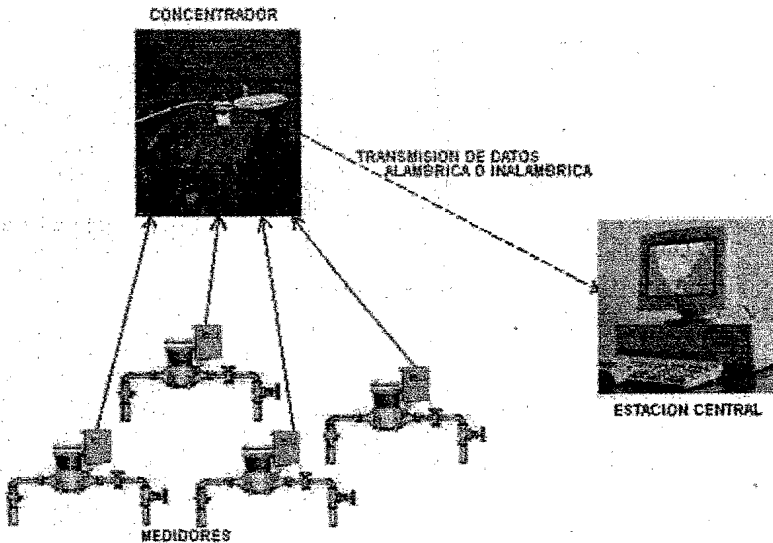


Figura 5.23. Sistema de red fija.



### 5.1.5.2. Sistemas de control supervisorio y de adquisición de datos (SCADA)

Su nombre proviene de las siglas en inglés SCADA Supervisory Control and Data Acquisition, son sistemas compuestos básicamente de una o varias estaciones maestras que son elementos de interfase Hombre-Máquina y que permiten al operador adquirir datos y realizar controles sobre cualquier proceso que implique el control y adquisición de datos de entradas/salidas de variables analógicas o digitales. Como su nombre lo indica es un sistema que tiene funciones de:

- **Telemedición.** Envío de datos de campo a larga distancia de manera alámbrica o inalámbrica, en muchos casos utilizando estaciones repetidoras.
- **Monitoreo.** Se refiere a la transmisión continua de datos observando estos en monitores para dar seguimiento al comportamiento del proceso.
- **Control remoto.** Permite la acciones de control como arranque y paro de bombas, apertura y cierre de válvulas desde el cuarto de control de manera remota.
- **Control automático.** En campo donde se localiza el equipo, este efectúa acciones de control como las ya descritas sin necesidad de la acción de un operador y en base a la lectura de parámetros.

La telemedición, el monitoreo, el control remoto y automático en estos sistemas se efectúa en tiempo real.

Este tipo de sistemas cuenta con una parte de hardware y otra parte de software. El sistema básico, considerando su entorno, cuenta con los siguientes componentes:

- **Transductor o sensor, elemento primario.** Es el dispositivo que mide el parámetro deseado (flujo, volumen, nivel, presión, corriente eléctrica, voltaje, PH, etc.) en forma de una señal eléctrica. Es la parte del medidor que efectúa la medición directa.

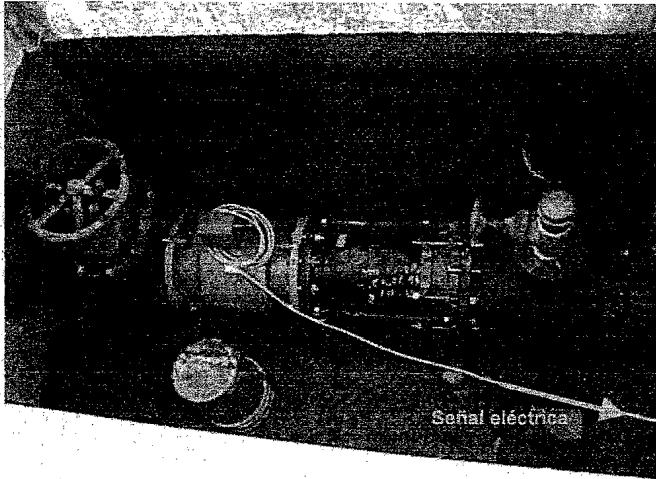


Figura 5.24. Elemento primario de un medidor de flujo.

- Unidad de despliegue o elemento secundario. Es el equipo que muestra de manera local, en sitio, el valor del parámetro leído. En este equipo se efectúa la conversión de la señal eléctrica a las unidades del parámetro leído. En el caso de los medidores, es la carátula o pantalla del medidor. Estos equipos cuentan con las salidas eléctricas para enviar los datos a la unidad terminal remota o RTU.

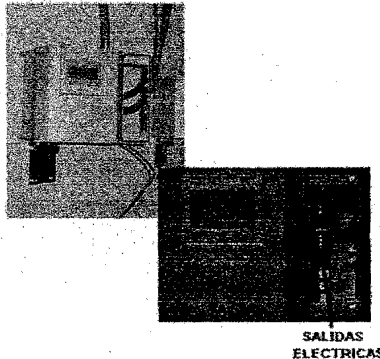


Figura 5.25. Elemento secundario de un medidor de flujo.

- Unidad terminal remota. RTU por sus siglas en inglés Remote Terminal Unit. Es el equipo que recibe los datos de los elementos secundarios y de



los elementos primarios, (cuando éstos últimos no cuentan con elementos secundarios), y efectúa las siguientes acciones:

Puede contar con un equipo adicional denominado PLC (por sus siglas en inglés Program Logical Control), este equipo se puede definir como una computadora para propósitos específicos de control. Recibe las señales de los elementos primarios y secundarios y genera salidas eléctricas de control para, por ejemplo, arranque o paro de motores; apertura, cierre y modulación de válvulas, etc. Este equipo es programable y permite el cargado de algoritmos para definir las salidas de señales que efectúan las acciones de control en base a las señales de entradas de parámetros.

También recibe señales de entrada remotas para generar salidas de señales de control. Cuenta también con un módem (modulador-demodulador) que recibe y envía señales de manera alámbrica o inalámbrica. Estos equipos pueden utilizar protocolos de comunicación (por ejemplo MODBUS, HART) para incrementar la eficiencia del uso de los módems operando los distintos elementos secundarios como nodos de una red y permitiendo el acceso a datos del elemento secundario. Cuando no se utiliza el PLC el sistema utiliza exclusivamente un módem.

- Software de aplicación. Este software se diseña para personalizar la presentación de los datos de campo y generar los iconos o botones para efectuar acciones de control de manera remota, permite incluir en pantalla dibujos isométricos del punto de medición, fotografías, planos en planta y en corte de los puntos de medición, etc. Existen diversos lenguajes de programación especializados para personalizar la aplicación.

Este sistema requiere definir un número mínimo de puntos de medición que permitan la inversión de estaciones repetidoras. Este tipo de sistemas se aplican en organismos operadores con complejidad en la operación hidráulica y que cuentan, de manera directa o indirecta, con el soporte técnico de expertos en sistemas SCADA del cual son propietarios.





### 5.1.5.3. Telegestión

El sistema de telegestión utiliza, para la transmisión de datos, infraestructura inalámbrica de comunicaciones existentes tipo satelital o celular. En este concepto el usuario tiene que pagar una renta mensual por el uso de infraestructura de telecomunicaciones y se deslinda del mantenimiento y del desarrollo tecnológico de esta infraestructura.

Al igual que el sistema SCADA, tiene funciones de telemedición, monitoreo, control remoto y automático, pero no en tiempo real. Esta es una de las grandes diferencias de la telegestión con un sistema SCADA.

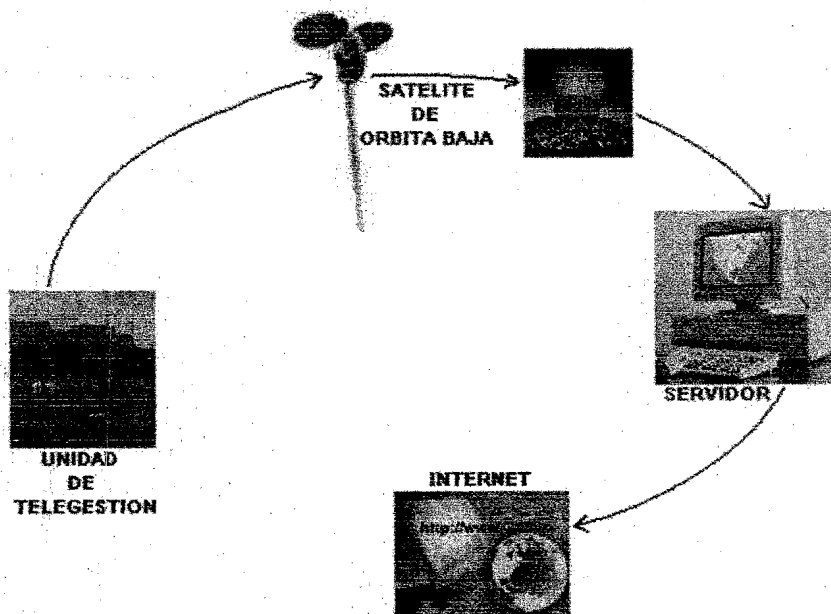


Figura 5.26. Sistema de telegestión.

En el concepto de telegestión se considera innecesario la utilización de enlaces radioeléctricos en tiempo real, los enlaces se efectúan cuando ocurre una alarma y/o acción de control. Cuando el tiempo real es indispensable esta tecnología no aplica.



Este tipo de sistema cuenta con una parte de hardware y otra parte de software y también interactúa con los elementos primarios y secundarios conceptualizados en un sistema SCADA. También permite contar con un PLC para efectuar acciones de control distribuido y local enviando mediante mensajes de alarmas, a estaciones centrales, la notificación de cualquier acción de control realizada.

Para no perder el registro histórico de tendencias de parámetros y de acciones de control, estos datos se almacenan en un registrador de datos (data logger) y se envían periódicamente. De esta manera, se reducen los enlaces radioeléctricos de comunicación y se disminuye el pago de derechos por el uso de infraestructura de comunicaciones celular o satelital. Existe un retraso del envío de datos, este retraso va desde 2 minutos hasta 120 minutos, un retraso típico es de 15 minutos. Este sistema está dirigido al personal de operaciones del organismo operador que no cuenta con el conocimiento de programación de sistemas SCADA, es decir, es un sistema dirigido al usuario final que puede reconfigurar las acciones de control sin contar con conocimientos específicos técnicos de sistemas SCADA.

Como este sistema utiliza infraestructura de comunicaciones existentes y la transmisión de datos es inalámbrica, el sistema puede iniciar solo en un punto de medición e ir creciendo conforme a las posibilidades presupuestales del organismo operador lo permiten, además de que es la solución ideal para puntos de medición remotos y de difícil acceso, ya que se puede disponer del registro de volúmenes de consumo vía Internet, sin importar la localización física de los puntos de medición.

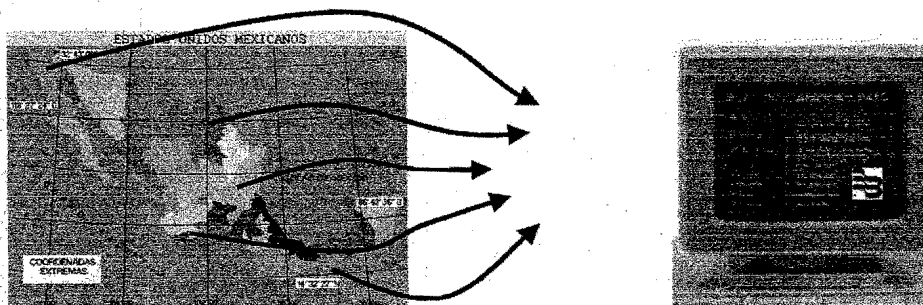


Figura 5.27. Disposición de información vía Internet.



## 5.2. Medidores auditores

### 5.2.1. Tubo Pitot

El tubo Pitot, es un medidor indirecto de caudal, que puede ser empleado en conductos libres o a presión, se considera así debido a que es un instrumento destinado a la medición del caudal a través de la cuantificación de la velocidad del flujo utilizando la ecuación de continuidad.

$$Q = A \times V$$

donde:

Q es el gasto del flujo

A es el área transversal de la tubería

V es la velocidad del flujo.

El tubo Pitot es un tubo doblado a 90°, en forma de escuadra o "L", que se coloca dentro del flujo paralelo a las líneas de corriente con la boquilla en dirección contraria al sentido del flujo (vector de velocidad) provocando un punto de estancamiento a la entrada de la boquilla para que el agua ascienda dentro del tubo; por lo tanto, la velocidad de la corriente se reduce a cero y por consiguiente la energía de presión aumenta a costa de la disminución de la energía cinética. El tubo consta por lo regular cuando se trabaja para tuberías a presión de un manómetro, ya sea diferencial, mecánico o electrónico, o bien, de un tubo de Pitot para medir carga total.

Por medio del tubo Pitot se obtiene la altura o diferencia de alturas cuando se usa el manómetro, pero la carga total o sea la suma de la carga de velocidad y de la carga de presión se obtiene aplicando uno de los teoremas fundamentales de la hidráulica que es el teorema de Bernoulli.

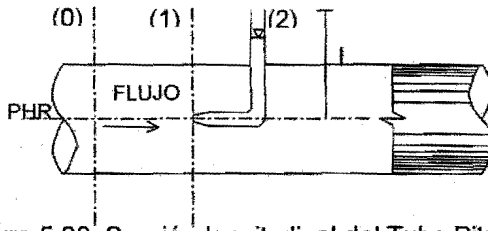


Figura 5.28. Sección longitudinal del Tubo Pitot.

Aplicando la Ecuación de Bernoulli a la figura anterior, despreciando las pérdidas de carga por ser muy pequeñas, y considerando el punto (0) y (1) en el mismo plano de referencia, se tiene lo siguiente:

$$z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + \sum h$$

donde:

$z$ : carga de posición

$\frac{p}{\gamma}$ : carga de presión

$\frac{v^2}{2g}$ : carga de velocidad

$\sum h$ : pérdidas de carga

Debido a que en el punto (1) hay estancamiento, es decir,  $\frac{v_1^2}{2g} = 0$ ,  $z_0 = z_1$  y  $\sum h \cong 0$ ,

entonces se tiene:

$$\frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = \frac{p_1}{\gamma} \dots \dots \dots (a)$$

que es la presión de estancamiento. Haciendo ecuación de la energía de (1) a (2) tenemos que:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

de la ecuación anterior deducimos que en el punto (1) la carga de posición vale cero ( $z_1 = 0$ ) debido al plano de referencia, y la carga de velocidad es cero



$\left(\frac{v_1^2}{2g} = 0\right)$  por el estancamiento, mientras que en el punto (2) la carga de presión es cero  $\left(\frac{p_2}{\gamma} = 0\right)$  y por consiguiente la carga de velocidad también vale cero  $\left(\frac{v_2^2}{2g} = 0\right)$ .

Eliminando las características anteriores, tenemos:

$$\frac{p_1}{\gamma} = Z_2 \dots \dots (b)$$

sustituyendo (b) en (a) se tiene:

$$\frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_2$$

$$\frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = l$$

del cual despejamos la velocidad:

$$v_0 = \sqrt{\left(l - \frac{p_0}{\gamma}\right) 2g}$$

se observa que el tubo Pitot mide la presión de estancamiento, es decir, la suma de la presión estática más la presión dinámica.

Al Tubo Pitot se le han hecho modificaciones, como: el Tubo Pitot – Simplex y el Tubo Pitot – Annubar.

#### 5.2.1.1. Tubo de Pitot Simplex

El tubo de Pitot Simplex consta principalmente de los siguientes elementos:

- Cruceta de válvulas. Pieza metálica fundida acoplada a la varilla del Pitot, cuenta con dos salidas para la instalación de las mangueras y válvulas para la purga de aire



- Válvulas de purga de aire. Utilizadas para purgar el aire del tubo Pitot.
- Válvulas de conexión de mangueras. Aíslan hidráulicamente el tubo Pitot de las mangueras.
- Guía de medición. Pieza movable a lo largo de la varilla, la cual indica la posición de las tomas de presión diferencial en el interior de la tubería.
- Anillo fijador. Dispositivo usado para fijar la varilla del tubo Pitot en una determinada posición, para evitar que se mueva en dirección vertical.
- Soporte de la escala graduada. Pieza que fija la regla graduada empleada para levantar el perfil de velocidades.
- Orificios de toma de presión diferencial. Se ubican en el extremo inferior del tubo Pitot Simplex, los cuales generan el diferencial de presión.
- Tapón protector de orificios. Pieza acoplada al extremo de la varilla para proteger los orificios calibrados.
- Varilla. Perfil externo de formato aerodinámico, que recubre a los tubos transmisores de presión diferencial.
- Tuerca de conexión o tuerca hexagonal. Pieza que acopla el tubo Pitot a la válvula de inserción.

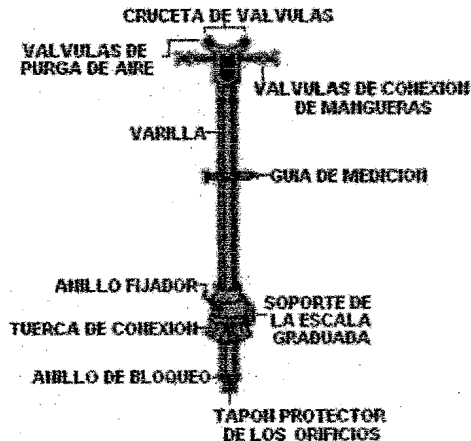


Figura 5.29. Tubo Pitot Simplex.



### 5.2.1.2. Tubo de Pitot Annubar

El tubo de Pitot Annubar es el más comercial y aceptado por su excelente precisión, debido a su fácil instalación, operación y mantenimiento. La energía cinética que mide, es un compuesto de las velocidades de varios anillos de la sección transversal de la tubería. Estos dispositivos se calibran directamente en el flujo con el uso de una curva de calibración. Este tipo de Pitot consta de cuatro partes básicas:

- Sensores de alta presión: son cuatro orificios que van en contra del flujo, los cuales promedian las cargas por estancamiento de la sección transversal.
- Tubo interpolador: insertado dentro del sensor de alta presión, transmite continuamente el promedio de las presiones dinámicas detectada por los cuatro orificios sensores.
- Sensor de baja presión que capta la presión estática.
- La parte superior del instrumento, mediante la cual se transmite la diferencia de presiones registradas a un indicador o manómetro.

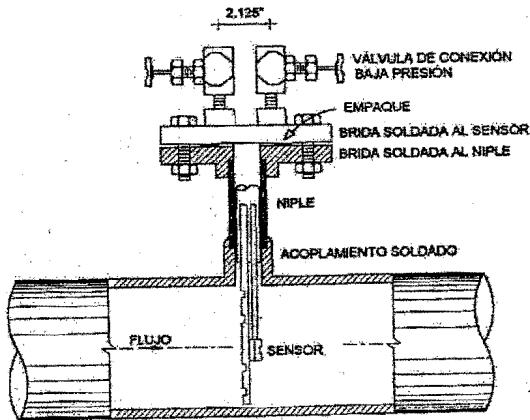


Figura 5.30. Sección longitudinal del Tubo Pitot Annubar.

En caso de que se tengan válvulas o accesorios, para tener una mejor precisión se recomienda colocar de 10 a 20 diámetros nominales como distancia mínima si el accesorio es aguas arriba y 5 y 10 diámetros nominales si esta aguas abajo.



Si se tiene la presencia de conjuntos de motor-bomba además de otros accesorios se debe contemplar una distancia mínima de 30 diámetros nominales y colocarlo aguas abajo del conjunto motor-bomba y una posible válvula de compuerta o mariposa.

En condiciones extremas cuando se tienen sumadas las presencias de motor-bomba, válvulas, acoplamientos de dos codos de 90° de modo que la dirección del flujo cambia; para garantizar que el perfil de velocidades no va a sufrir interferencias, es más conveniente que la distancia mínima sea de 50 diámetros nominales.

Su precisión es de  $\pm 2\%$  y su pérdida de carga con respecto a otros medidores es mínima, debido a que no estrangula ni obstruye el área de la tubería.

Para la exitosa medición del caudal en conductos a presión, es necesario contar con algunos aditamentos, los cuales son necesarios tanto para la simple instalación del Tubo Pitot, como para la correcta lectura del instrumento y son los siguientes:

- Manómetro diferencial
- Máquina de inserción
- Líquidos manométricos
- Válvula de acoplamiento
- Mangueras

Las ventajas de este tipo de instrumentos son:

- Facilidad de ser ensamblado en una tubería en funcionamiento, sin detener la operación del sistema.
- Rango de error de  $\pm 2\%$  atendiendo a las recomendaciones fijadas por el fabricante y a la calibración del equipo.
- Puede ser instalado en registradores gráficos y registradores digitales.

Las desventajas que lo caracterizan son:

- Es un medidor de gasto indirecto.





- La instalación tiende a ser un poco difícil, ya que se requiere de otros instrumentos ajenos al equipo.
- Con cierta cantidad de partículas en suspensión las tomas de presión tienden a obstruirse.
- Su desempeño depende del registro de la velocidad media permanente del fluido. Requiere personal especializado para su instalación, calibración y mantenimiento.

### 5.2.2. Medidor ultrasónico

Los medidores ultrasónicos son aquellos aparatos que utilizan los principios de la acústica, teniendo su origen en el sonar. El ultrasonido es un sonido con frecuencia más alta que la perceptible por el oído humano, los medidores ultrasónicos cuentan con unos emisores de ondas de ultrasonido y unos receptores de las mismas (transductores). Primeramente el emisor envía una onda a una determinada frecuencia y el receptor capta las ondas que son reflejadas en el agua, inclusive, la onda puede reflejarse en partículas de sólidos en suspensión o en burbujas de aire. Si el agua está en movimiento, las ondas reflejadas tendrán una frecuencia diferente a la emitida; la diferencia de frecuencia indica al dispositivo la velocidad de la corriente.

Los dispositivos ultrasónicos pueden usarse para medir de manera exacta y confiable caudales de agua potable y residual (afuentes/efluentes) en canales abiertos y en tuberías presurizadas totalmente llenas.

El principio básico de funcionamiento de los medidores ultrasónicos en tuberías es el siguiente: una señal sónica es transmitida diagonalmente a través del tubo por donde pasa el agua, la velocidad del líquido afecta el tiempo que esta señal emplea para ir de un transmisor hasta un receptor, disminuyendo este tiempo cuando la señal y el flujo van del mismo sentido, y aumentando cuando esto no ocurre. En realidad, el medidor ultrasónico mide la velocidad sónica del agua a través de un par de transductores, por lo que la minimización del error en la medición del tiempo es fundamental.



Los medidores ultrasónicos más utilizados para medir caudal en tuberías son de dos tipos:

- Por impulsos, tiempos de ida y vuelta (tiempo en tránsito).
- Por desplazamiento de frecuencia (efecto Doppler).

La diferencia entre los dos radica en que el primero trabaja mandando una señal sonora de una pared a otra de la tubería, mientras que la señal sonora del doppler es reflejada por algún material en suspensión que se está moviendo junto con el agua (velocidad de la partícula). Es por ello que el medidor de tiempo en tránsito es utilizado en aguas que no contengan material en suspensión (agua residual), mientras que el medidor doppler se utiliza en aguas residuales o bien, con aire disuelto.

#### 5.2.2.1. Medidor ultrasónico de tiempo en tránsito

Los medidores ultrasónicos de tiempo en tránsito, están diseñados en base a un microprocesador que aplica la tecnología de tiempos de ida y vuelta de las señales ultrasónicas, para lo cual utiliza dos sensores bidireccionales que envían y reciben la señal sónica a través del diámetro de la tubería, el tiempo de retraso de las señales enviadas y recibidas es proporcional a la velocidad del flujo. Su principio de operación utiliza las fórmulas:

$$V_f = \frac{\Delta t \times C^2 \cos \theta_c}{2d(\sin \theta_c)}$$

$$Q = A \times V$$

donde:

- $V_f$ : velocidad del fluido
- $C$ : velocidad sónica
- $\theta_c$ : ángulo de cruce de señal ultrasónica
- $d$ : diámetro
- $Q$ : gasto del flujo
- $A$ : área transversal de la tubería
- $V$ : velocidad del flujo.



Las ventajas que ofrecen este tipo de medidores son:

- Facilidad de instalación.
- Alta precisión (en unidades calibradas se considera el error de  $\pm 1\%$  sobre el rango de flujo).
- Las pérdidas de carga son mínimas o nulas.
- Los sensores pueden ser fijados exteriormente o ponerse en contacto con el fluido.

Las desventajas que lo caracterizan son:

- Alto costo de adquisición.
- Requiere personal especializado para su instalación, calibración y mantenimiento.

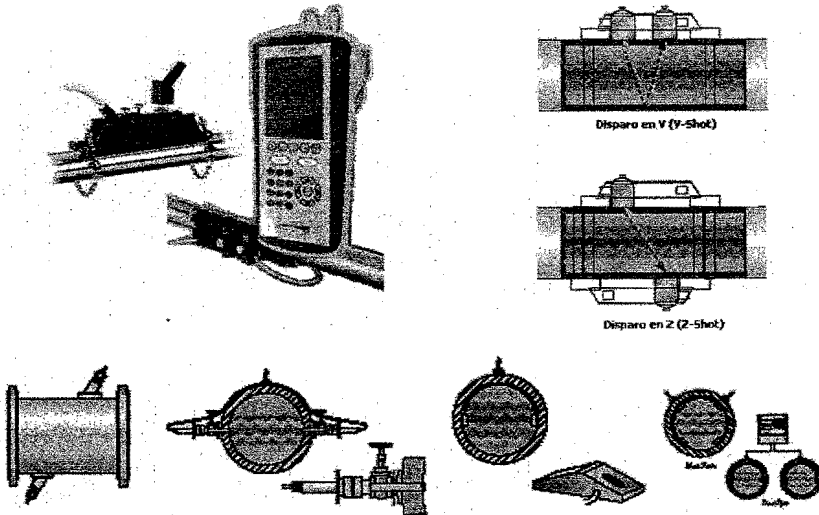


Figura 5.31. Medidor ultrasónico, casos de montaje y tipos de sensores.



### 5.2.2.2. Medidor ultrasónico de efecto doppler

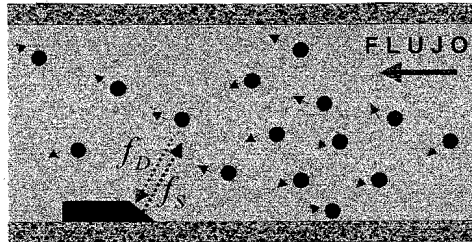
Los medidores ultrasónicos de efecto doppler son dispositivos que funcionan dentro del margen de frecuencias comprendido entre 100 y 1500 Hz. Estos envían un sonido continuo de frecuencia fija y detectan la diferencia de frecuencias de la señal de retorno.

La variación de estas frecuencias, depende de la velocidad de las partículas líquidas y esta vinculada al caudal.

- El medidor cuenta con un sensor bidireccional sónico de efecto doppler.
- El sensor doppler envía una señal sónica con una frecuencia y velocidad específicas.
- Las señales chocan con las partículas en suspensión o con las burbujas de aire.
- El sensor recibe la señal sónica con una frecuencia diferente.
- La diferencia de frecuencias es proporcional a la velocidad del fluido.

Su principio de operación utiliza las fórmulas:

$$f_D = \frac{f_s}{1 - \frac{v_t}{v_c} \cos \theta}$$



donde:

- $f_D$  : frecuencia recibida  
 $f_s$  : frecuencia transmitida  
 $\theta$  : ángulo de transmisión  
 $v_t$  : velocidad de la partícula  
 $v_c$  : velocidad sónica

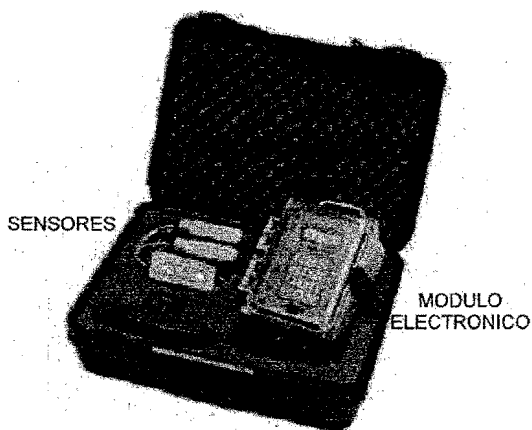


Figura 5.32. Medidor ultrasónico efecto doppler.

Las ventajas que ofrecen este tipo de medidores son:

- Facilidad de instalación.
- Alta precisión (en unidades calibradas se considera el error de  $\pm 1\%$  sobre el rango de flujo).
- El medidor es un dispositivo muy pequeño, por lo que su presencia en el interior de la tubería no altera las condiciones hidráulicas.

Las desventajas que lo caracterizan son:

- Alto costo de adquisición.
- Se requiere que la tubería este seca para instalar el medidor.
- Requiere personal especializado para su instalación, calibración y mantenimiento.



## CAPITULO VI

### CASOS DE ESTUDIO

En el presente capítulo se presentan casos de estudio de auditorías realizadas a diferentes megausuarios, para evaluar las condiciones de operación y desempeño de los medidores utilitarios instalados en las tomas domiciliarias de los usuarios estudiados, y conocer los volúmenes de suministro para determinar acciones encaminadas a incrementar la eficiencia física y comercial en el control de estos usuarios y sus demandas de agua potable.

Para comprender mejor los resultados presentados en este capítulo, es conveniente retomar algunos conceptos básicos de auditorías del agua.

- Las auditorías del agua son técnicas de instrumentación mediante las cuales se determinan los volúmenes suministrados, volúmenes consumidos y volúmenes producto de fugas y tomas clandestinas.
- Las auditorías del agua se aplican a usuarios del servicio hidráulico, a infraestructura hidráulica específica (tanques, líneas de conducción, colectores, plantas, etc.), a distritos hidráulicos, a puntos de medición para seleccionar un medidor permanente, a medidores existentes, a colonias, ciudades, estados, países.
- El patrón de suministro es la curva de gasto-tiempo que representa los volúmenes de entrega de agua potable del organismo operador al usuario.
- El patrón de consumo es la curva de gasto-tiempo que representa los volúmenes reales de consumo del usuario; para conocer esos gastos es necesario instalar un medidor en cada salida de agua potable que tenga el usuario.

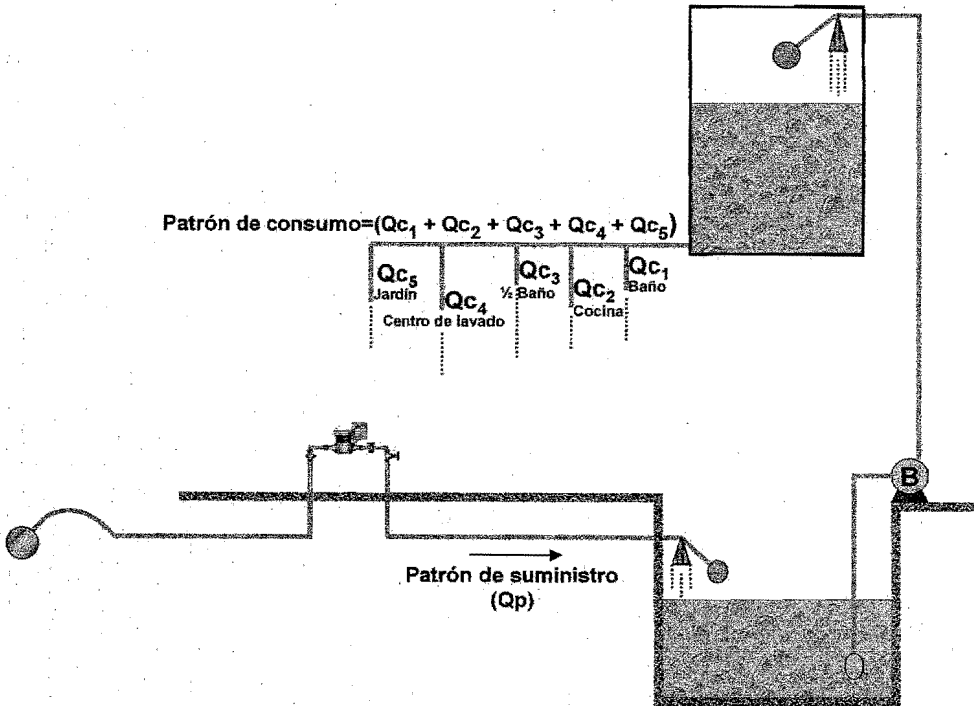


Figura 6.1. Patrón de suministro y patrón de consumo.

Dentro de los equipos de instrumentación, y para la medición de flujos de los distintos tipos de agua: agua potable, agua residual tratada y agua negra, los organismos operadores de los servicios hidráulicos disponen, de acuerdo al tipo de aplicación, de medidores utilitarios e industriales para asistir la operación y control de los sistemas hidráulicos. Los medidores utilitarios se utilizan en los sistemas comerciales para cuantificar los volúmenes de aguas suministrados, y en función de éstos, generar los derechos. Los medidores industriales se utilizan para medir caudales, volúmenes y controlar variables (arranque / paro de motores, operación de válvulas, dosificación de fluidos, etc).

Actualmente, con el desarrollo que se tiene en la electrónica, específicamente en los dispositivos electrónicos y en las telecomunicaciones los medidores utilitarios e industriales se utilizan de manera integral en las auditorías del agua.



Los megasusuarios, mencionados en capítulos anteriores, son el tipo de usuarios del servicio hidráulico que utilizan al agua potable como materia prima o como insumo en su proceso productivo, dentro de este tipo de usuarios se encuentran los hoteles, fábricas, hospitales, etc. Por su importancia, estos usuarios deben estar administrados de manera eficiente para asegurarles el abasto de agua potable y para producir derechos reales sobre consumos precisos, ya que este tipo de usuarios representan para sus Organismos Operadores correspondientes, los ingresos mas importantes en la recaudación de derechos.

### 6.1. Metodología de trabajo y análisis de resultados

A continuación se presenta la metodología de trabajo y el procedimiento de análisis de los datos obtenidos en las auditorías efectuadas a diferentes megasusuarios.

1. Levantamiento del censo hidráulico del punto de medición.
2. Programación e instalación del medidor auditor portátil en el punto de medición. Es importante señalar que los medidores auditores empleados son equipos calibrados y certificados.

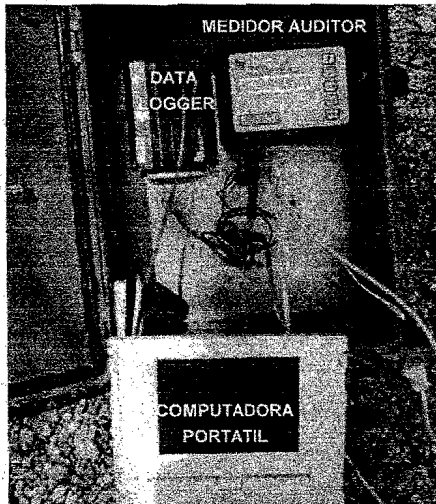


Figura 6.2. Equipo de instrumentación.



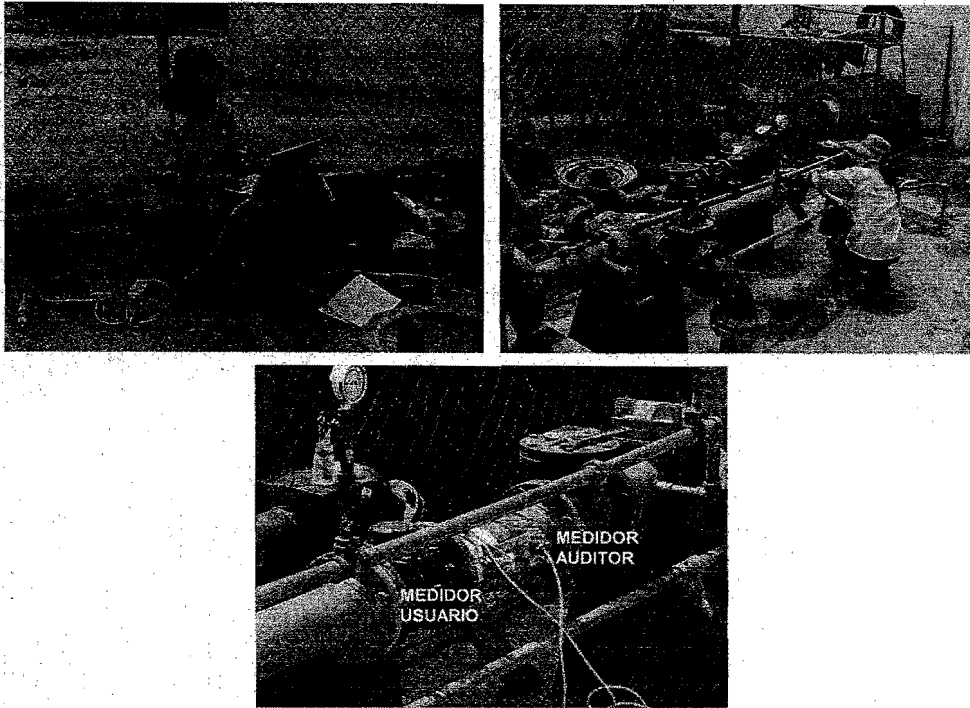


Figura 6.3. Programación e instalación de medidor auditor.

3. Obtención del patrón de flujo. Se recupera el archivo original de instrumentación del data logger instalado, se procesan los datos obtenidos y se genera un archivo con extensión "xls" para trabajar en una hoja de cálculo en Excel.

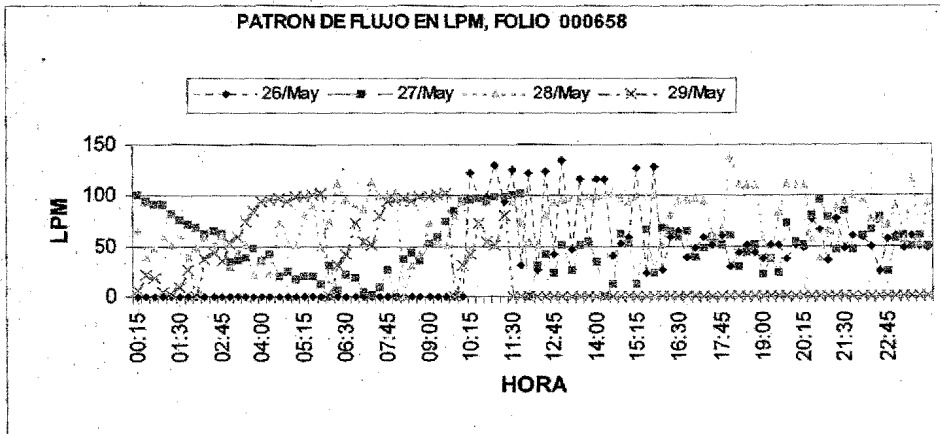
	A	B	C	D
1	Date	Digital #1		Date
2	07/21/00	Lps		07/22/00
3	11:30	0		00:00
4	11:45	0		00:15
5	12:00	0.51459714		00:30
6	12:15	0.69751233		00:45
7	12:30	0.39682386		01:00
8	12:45	0.83988156		01:15
9	13:00	0.44856641		01:30
10	13:15	0.86211313		01:45
				Digital #1
				Lps
				0.60064615
				0.94631772
				0.92172526
				1.01379944
				0.86919575
				1.28962839
				1.41180374
				1.3407807



Con los datos anteriores, se calcula el promedio en litros por minuto; los datos se ordenan por fecha y por hora, para hacer la comparativa del consumo que realizó el usuario a la misma hora durante los días en que se efectuó la auditoría.

	A	B	C	D	E	F
1	FOLIO			0 0 0 6 5 8		
2	Date: 07/21/00			Date: 07/22/00		
3	DIA1			DIA2		
4	Time	lps	Prom. LPM	lps	Prom. LPM	
5	10:00	2.0442	=B3*60	1.5903	=D3*60	
6	10:15	1.6352	98.1147	1.6352	98.1147	
7	10:30	1.6581	99.4861	1.5709	94.2548	
8	10:45	2.1525	129.1485	1.6581	99.4861	
9	11:00	1.5800	94.7997	1.6395	98.3690	
10	11:15	2.0812	124.8708	1.6782	100.6940	
11	11:30	0.5146	30.8758	1.7088	102.5286	
12	11:45	2.0379	122.2733	0.0000	0.0000	
13	12:00	0.4486	26.9140	0.5146	30.8758	
14	12:15	2.0745	124.4711	0.6975	41.8507	
15	12:30	0.7000	42.0000	0.3968	23.8094	
16	12:45	2.2439	134.6341	0.8399	50.3929	
17	13:00	0.7800	46.8000	0.4486	26.9140	
18	13:15	1.9301	115.8068	0.8621	51.7268	
19	13:30	0.8900	53.4000	0.9054	54.3238	
20	13:45	1.9459	116.7513	0.5613	33.6779	

Se grafican los datos de tiempo - caudal que nos muestra el patrón de flujo del usuario durante el tiempo que duró la auditoría.

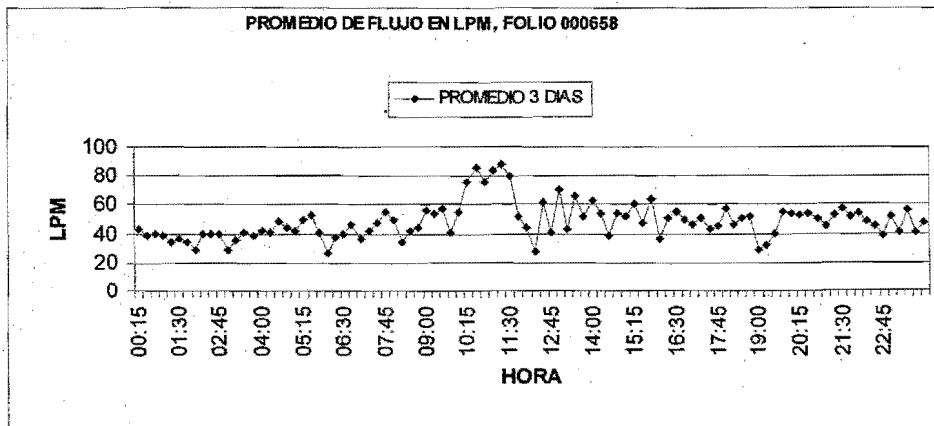




4. Obtención del consumo promedio. De cada una de las lecturas se calcula el promedio de flujo, en litros por minuto, de los tres días de auditoría.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	F O L I O                    0 0 0 6 5 8							
2	Date: 07/21/00		Date: 07/22/00			Date: 07/23/00		
3	DIA1		DIA2			DIA3		PROMEDIO 3 DIAS
4	Time	lps	Prom. LPM	lps	Prom. LPM	lps	Prom. LPM	
5	10:00	2.0442	122.6547	1.5903	95.4173	0.6975	41.8507	=PROMEDIO A(C5,E5,G5)
6	10:15	1.6352	98.1147	1.6352	98.1147	1.2227	73.3642	89.8645
7	10:30	1.6581	99.4861	1.5709	94.2548	0.9015	54.0877	82.6095
8	10:45	2.1525	129.1485	1.6581	99.4861	0.8631	51.7858	93.4735
9	11:00	1.5800	94.7997	1.6395	98.3690	1.3374	80.2462	91.1383
10	11:15	2.0812	124.8708	1.6782	100.6940	1.5800	94.7997	106.7882
11	11:30	0.5146	30.8758	1.7088	102.5286	1.2227	73.3642	68.9229
12	11:45	2.0379	122.2733	0.0000	0.0000	0.9015	54.0877	58.7870
13	12:00	0.4486	26.9140	0.5146	30.8758	0.8631	51.7858	36.5252
14	12:15	2.0745	124.4711	0.6975	41.8507	1.3374	80.2462	82.1893
15	12:30	0.7000	42.0000	0.3968	23.8094	1.5800	94.7997	53.5364
16	12:45	2.2439	134.6341	0.8399	50.3929	1.5903	95.4173	93.4814
17	13:00	0.7800	46.8000	0.4486	26.9140	1.6352	98.1147	57.2762
18	13:15	1.9301	115.8068	0.8621	51.7268	1.5709	94.2548	87.2628
19	13:30	0.8900	53.4000	0.9054	54.3238	1.6581	99.4861	69.0699
20	13:45	1.9459	116.7513	0.5613	33.6779	1.6395	98.3690	82.9327

Se grafican los datos de tiempo - promedio de flujo y se obtiene la curva que muestra el consumo promedio que tiene el usuario en el transcurso del día.

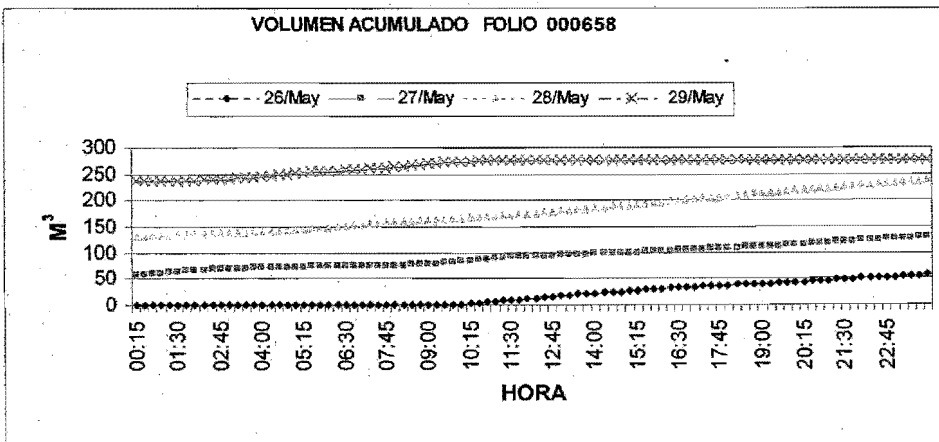




5. Obtención del volumen acumulado. Se calcula el consumo promedio en metros cúbicos para cada lectura, una vez que se obtienen estos datos se calcula el volumen acumulado por día.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	F O L I O 0 0 0 6 5 8							
2	Date: 07/21/00				Date: 07/22/00			
3	DIA1				DIA2			
4	Time	lps	Prom. LPM	Consumo m <sup>3</sup>	Volumen acumulado	lps	Prom. LPM	Consumo m <sup>3</sup>
5	10:00	2.0442	122.6547	=C5*15/1000	=D5	1.5903	95.4173	=G5*15/1000
6	10:15	1.6352	98.1147	1.4717	=D6+E5	1.6352	98.1147	1.4717
7	10:30	1.6581	99.4861	1.4923	4.8038	1.5709	94.2548	1.4138
8	10:45	2.1525	129.1485	1.9372	6.7411	1.6581	99.4861	1.4923
9	11:00	1.5800	94.7997	1.4220	8.1631	1.6395	98.3690	1.4755
10	11:15	2.0812	124.8708	1.8731	10.0361	1.6782	100.6940	1.5104
11	11:30	0.5146	30.8758	0.4631	10.4993	1.7088	102.5286	1.5379
12	11:45	2.0379	122.2733	1.8341	12.3334	0.0000	0.0000	0.0000
13	12:00	0.4486	26.9140	0.4037	12.7371	0.5146	30.8758	0.4631
14	12:15	2.0745	124.4711	1.8671	14.6041	0.6975	41.8507	0.6278
15	12:30	0.7000	42.0000	0.6300	15.2341	0.3968	23.8094	0.3571
16	12:45	2.2439	134.6341	2.0195	17.2536	0.8399	50.3929	0.7559
17	13:00	0.7800	46.8000	0.7020	17.9556	0.4486	26.9140	0.4037
18	13:15	1.9301	115.8068	1.7371	19.6927	0.8621	51.7268	0.7759
19	13:30	0.8900	53.4000	0.8010	20.4937	0.9054	54.3238	0.8149
20	13:45	1.9459	116.7513	1.7513	22.2450	0.5613	33.6779	0.5052

Se grafican los datos de tiempo - volumen acumulado y se obtiene la gráfica que muestra el volumen real de consumo del usuario por día.





6. Determinación del histograma caudal – volumen. Se ordenan de manera ascendente los datos de caudal (columna C) y se hace la conversión de cada dato a galones por minuto (GPM). Esta conversión se realiza porque generalmente las fichas técnicas de los medidores manejan estas unidades de medida, y como se verá posteriormente serán utilizadas para calcular la precisión de los medidores.

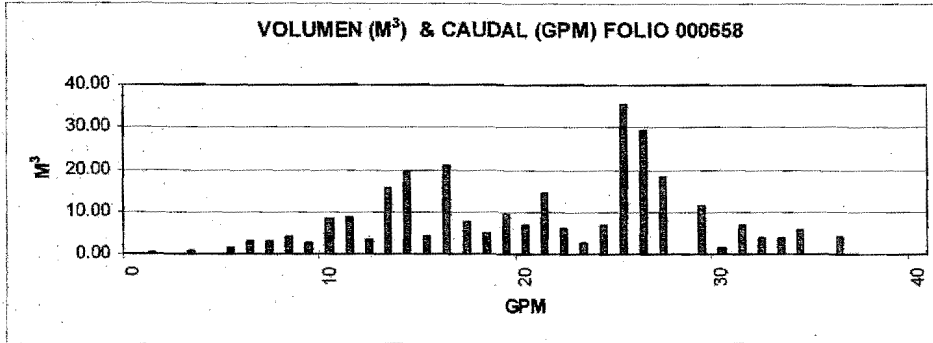
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	F O L I O 0 0 0 6 5 8							
2	Date: 07/21/00				Date: 07/22/00			
3	DIA1				DIA2			
4	Time	lps	Prom. LPM	Prom. GPM	Consumo m <sup>3</sup>	lps	Prom. LPM	Prom. GPM
5	09:45	0.0000	0.0000	=REDONDEAR ((C5/3.785),0)	0.0000	0.0000	0.0000	=REDONDEAR ((G5/3.785),0)
6	15:15	0.3978	23.8685	6	0.3580	0.0000	0.0000	0
7	22:15	0.4179	25.0725	7	0.3761	0.0088	0.5268	0
8	12:00	0.4486	26.9140	7	0.4037	0.0375	2.2524	1
9	15:45	0.4486	26.9140	7	0.4037	0.0665	3.9871	1
10	17:45	0.4852	29.1096	8	0.4366	0.0910	5.4584	1
11	11:30	0.5146	30.8758	8	0.4631	0.1603	9.6180	3
12	20:45	0.6000	36.0000	10	0.5400	0.2022	12.1338	3
13	18:45	0.6095	36.5700	10	0.5485	0.2148	12.8904	3
14	19:30	0.6095	36.5700	10	0.5485	0.2184	13.1029	3
15	16:30	0.6528	39.1669	10	0.5875	0.2853	17.1199	5
16	14:15	0.6700	40.2000	11	0.6030	0.3212	19.2724	5
17	12:30	0.7000	42.0000	11	0.6300	0.3304	19.8264	5
18	18:00	0.7232	43.3929	11	0.6509	0.3342	20.0534	5

Se determina cuantas veces se repite el mismo gasto por día de auditoria y se calcula el volumen real de consumo que tuvo el usuario dependiendo los diferentes rangos de gasto.

	A	B	C	D	E	F	G
1	F O L I O 0 0 0 6 5 8						
2	GPM	LPM	DIA1	DIA2	DIA 3	TOTAL	Volumen m <sup>3</sup>
3	0	0.00	40	3	55	=SUMA(B3:D3)	=(15*F3*B3)/1000
4	1	3.79	0	3	3	6	0.34
5	2	7.57	0	0	0	0	0.00
6	3	11.36	0	4	1	5	0.85
7	4	15.14	0	0	0	0	0.00
8	5	18.93	0	5	1	6	1.70
9	6	22.71	1	5	3	9	3.07
10	7	26.50	3	4	1	8	3.18



Se grafican los datos de las columnas A y F y se obtiene el histograma de Volumen – Caudal, que es la comparación de volúmenes para diferentes rangos de gastos.



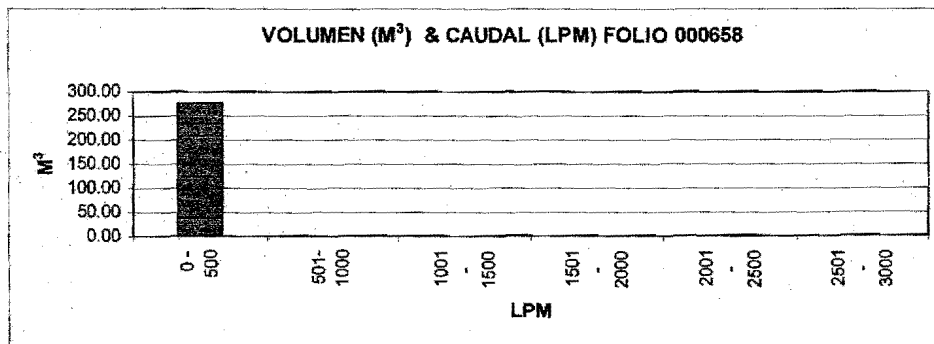
Finalmente se procede a agrupar los datos por rangos, sobre los gastos obtenidos, por ejemplo: de 0 a 500 lpm, de 501 a 1000 lpm, de 1001 a 1500 lpm, etc. Se hace la sumatoria del volumen por cada rango.

	A	B	C	D	E	F	G	
1	F O L I O						0 0 0 6 5 8	
2	GPM	LPM	DIA1	DIA2	DIA 3	TOTAL	Volumen m <sup>3</sup>	VOLUMEN ACUMULADO (m <sup>3</sup> )
3	0	0.00	40	3	55	98	0.00	277.23
4	1	3.79	0	3	3	6	0.34	
140	131	495.84	0	0	0	0	0.00	
141	132	499.62	0	0	0	0	0.00	
142	133	503.41	0	0	0	0	0.00	=SUMA(F142:F265)
143	134	507.19	0	0	0	0	0.00	
264	263	995.46	0	0	0	0	0.00	
265	264	999.24	0	0	0	0	0.00	
1146	925	3501.13	0	0	0	0	0.00	0.00
1147	926	3504.91	0	0	0	0	0.00	
1180	1055	3993.18	0	0	0	0	0.00	
1181	1056	3996.96	0	0	0	0	0.00	

Una vez obtenidos los rangos y los datos de volumen de cada uno se elabora una tabla resumen y se grafican los datos de volumen y caudal.



	A	B	C	D	E	F
1	FOLIO	0 0 0 6 5 8				
2	LPM	VOLUMEN ACUMULADO (m <sup>3</sup> )				
3	0 - 500	277.23				
4	501 - 1000	0.00				
5	1001 - 1500	0.00				
6	1501 - 2000	0.00				
7	2001 - 2500	0.00				
8	2501 - 3000	0.00				
9	3001 - 3500	0.00				
10	3501 - 4000	0.00				
11	4001 - 4500	0.00				
12	4501 - 5000	0.00				
13	5001 - 5500	0.00				
14	5501 - 6000	0.00				
15	6001 - 6500	0.00				
16	6501 - 7000	0.00				
17	7001 - 7500	0.00				
18	7501 - 8000	0.00				
19	8001 - 8500	0.00				
20	8501 - 9000	0.00				



El análisis de los datos de la auditoría realizada a cada usuario, nos permite determinar cual es el medidor idóneo a instalar y el diámetro del mismo. Mediante las gráficas de volumen contra caudal podemos indicar que tipo de medidor se requiere instalar.

Cuando en las gráficas apreciamos que los rangos de flujo representativos se refieren a gastos pequeños, es decir, gastos bajos - volúmenes altos, entonces



nos indican que para ese caso específico el medidor permanente que debe ser instalado es un medidor con sensibilidad a gastos bajos, generalmente, este tipo de medidor se emplea en tomas de diámetro menor (menor a 51mm de diámetro).

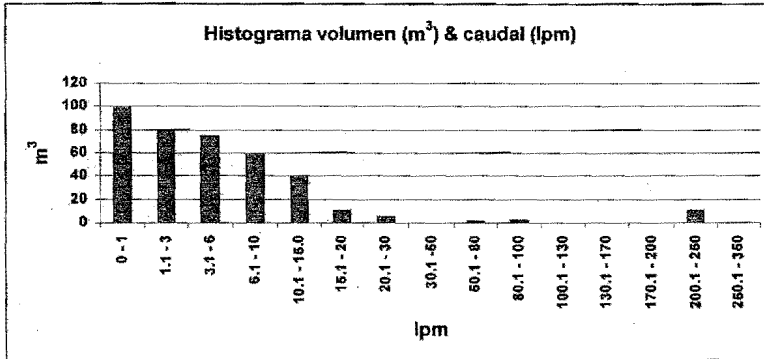


Figura 6.4. Gastos bajos – volúmenes altos.

Si por el contrario, los rangos de flujo representativos se refieren a gastos altos y volúmenes altos, el medidor más conveniente es un medidor de alta capacidad que puede ser un medidor de turbina.

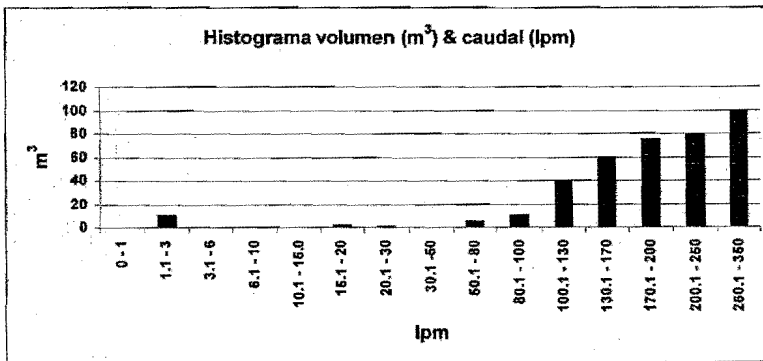


Figura 6.5. Gastos altos – volúmenes altos.

Por último, si se tiene el caso en que los flujos representativos fluctúan entre gastos bajos y altos, el medidor adecuado es un medidor compuesto o combinado.



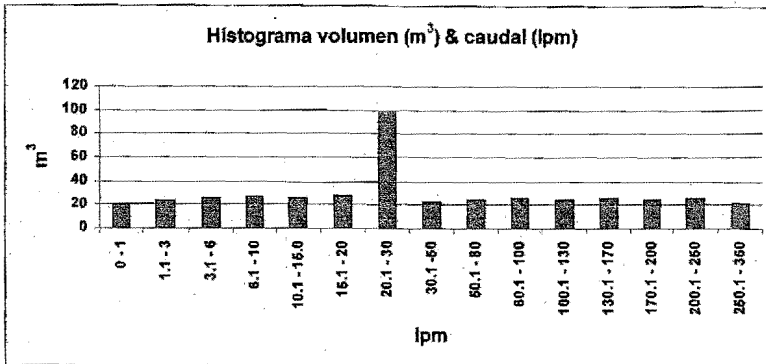


Figura 6.6. Gastos bajos – volúmenes altos y gastos altos – volúmenes altos.

Una vez que se ha determinado que tipo de medidor es el más adecuado, se procede a evaluar cual es el diámetro indicado para ser instalado en la toma; en base a los resultados obtenidos en las gráficas que nos muestran el patrón de consumo, nos remitimos a las cartas de precisión de las hojas técnicas de los medidores y calculamos la precisión de cada gasto para diferentes diámetros, una vez analizados los resultados podemos indicar cual es el diámetro más adecuado.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Tabla de precisión						
2	gpm	75MM	100MM	150MM	200MM	250MM	300MM
3	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0
5	2	0	0	0	0	0	0
6	3	0.98	0	0	0	0	0
7	4	1.005	0	0	0	0	0
8	5	1.01	0	0	0	0	0
9	6	1.01	0.955	0	0	0	0
10	7	1.01	0.97	0	0	0	0
11	8	1.01	0.976	0	0	0	0
12	9	1.006	0.981	0	0	0	0
13	10	1.006	0.985	0.91	0.85	0	0
14	11	1.006	0.986	0.91	0.85	0	0
15	12	1.006	0.988	0.92	0.86	0	0
48	45	0.99	0.991	0.995	0.992	0.94	0
49	46	0.99	0.991	0.995	0.992	0.94	0
50	47	0.99	0.991	0.995	0.992	0.94	0.96
51	48	0.99	0.991	0.995	0.992	0.94	0.96
52	49	0.99	0.991	0.995	0.992	0.94	0.96
53	50	0.99	0.991	0.995	0.993	0.94	0.96
54	51	0.99	0.991	0.995	0.993	0.99	0.96





## DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 01

FOLIO		658	HOSPITAL
<b>DATOS MEDIDOR INSTALADO</b>			
LECTURAS MEDIDOR:	INICIAL	853,800.00	M <sup>3</sup>
	FINAL	853,710.00	M <sup>3</sup>
	NUM. SERIE MEDIDOR INSTALADO	AZTECA	MA304620
	DIAMETRO DEL MEDIDOR INSTALADO	75	MM
<b>DATOS INSTRUMENTACION</b>			
	NUM. DE SERIE MEDIDOR AUDITOR	1	
	NUM. DE SERIE LOGGER	1	
	FECHA DE INSTALACIÓN	26/May	
	HORA DE INSTALACIÓN	10:00	
	FECHA DE DESINSTALACIÓN	29/May	
	HORA DE DESINSTALACIÓN	11:15	

## DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 02

<b>DATOS TECNICOS DEL PATRON DE FLUJO:</b>			
	FLUJO MINIMO	0.00	LPM
	FLUJO MAXIMO	137.73	LPM
	FLUJO PROMEDIO	48.33	LPM
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		75	MM
	FLUJO MINIMO	9.48	LPM
	FLUJO MAXIMO	2,535.95	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,362.60	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	99.27%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		100	MM
	FLUJO MINIMO	22.71	LPM
	FLUJO MAXIMO	3,974.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,930.35	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	98.03%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		150	MM
	FLUJO MINIMO	45.42	LPM
	FLUJO MAXIMO	10,030.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	4,920.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	91.77%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		200	MM
	FLUJO MINIMO	94.63	LPM
	FLUJO MAXIMO	11,733.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	5,677.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	87.25%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		250	MM
	FLUJO MINIMO	170.33	LPM
	FLUJO MAXIMO	20,249.75	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	13,247.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	0.00%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		300	MM
	FLUJO MINIMO	170.33	LPM
	FLUJO MAXIMO	24,602.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	12,112.00	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	0.00%	%
<b>CONCLUSION</b>			
	MEDIDOR O.K. ?	NO	
	DIAMETRO ACTUAL	75	MM
	EXACTITUD ACTUAL	75.69%	%
	CONSUMO MEDIDO	217.46	M <sup>3</sup>
	CONSUMO REGISTRADO	210.00	M <sup>3</sup>
	MEDIDOR RECOMENDADO	TURBINA	
	DIAMETRO RECOMENDADO	75	MM
	EXACTITUD NUEVA	99.27%	%



En el ejemplo que se está analizando, se obtuvo que el medidor utilitario instalado tiene una precisión del 75%, esto quiere decir que el organismo operador está dejando de percibir derechos de recaudación del 25% de agua que el usuario está consumiendo. Si queremos saber lo que representa en dinero, basta con multiplicar el volumen de consumo por la tarifa correspondiente. Para efectos de ejemplificación se consideran las tarifas aplicadas a uso no doméstico en el Distrito Federal.

Tabla 6.1. Tarifas aplicadas a uso no doméstico en el Distrito Federal.

Consumo en m <sup>3</sup>		Tarifa	
Límite Inferior	Límite Superior	Cuota Mínima	Cuota Adicional por m <sup>3</sup> excedente del límite inferior
0.0	10.0	\$ 83.74	\$ 0.00
10.1	20.0	\$ 167.40	\$ 0.00
20.1	30.0	\$ 251.16	\$ 0.00
30.1	60.0	\$ 251.16	\$ 12.41
60.1	90.0	\$ 624.43	\$ 16.17
90.1	120.0	\$ 1,109.75	\$ 19.90
120.1	240.0	\$ 1,707.15	\$ 23.61
240.1	420.0	\$ 4,543.90	\$ 27.38
420.1	660.0	\$ 9,471.75	\$ 31.09
660.1	960.0	\$ 16,939.14	\$ 35.01
960.1	1500.0	\$ 27,449.15	\$ 39.23
1500.1	En adelante	\$ 48,635.40	\$ 40.23

Fuente: Título Tercero de los Ingresos por Contribuciones, Capítulo IX, Sección Primera, Artículo 194. Código Financiero del Distrito Federal 2004.

En el siguiente cuadro se muestra la comparativa del cálculo del consumo promedio por bimestre del medidor del usuario y del medidor auditor; asimismo se presenta el cálculo de facturación de ambos consumos.



Tabla 6.2. Cálculo de consumo promedio y facturación.

Consumo (m <sup>3</sup> )	Precisión (%)	Días de estudio	Consumo promedio diario (m <sup>3</sup> )	Bimestre (días)	Consumo promedio bimestral (m <sup>3</sup> )	Facturación bimestral (\$)	Diferencia (\$)
277.46 /a	100.00	3	92.49	60	5,549.20	\$211,530.69	<b>\$54,278.32</b>
210.00 /b	75.69	3	70.00	60	4,200.00	\$157,252.37	

a/ Consumo real medido con el medidor auditor.

b/ Consumo registrado en el medidor utilitario del usuario.

Mediante los resultados obtenidos en la auditoría, el organismo operador evalúa las condiciones en las cuales está operando el medidor utilitario instalado en la toma del usuario y determina acciones para incrementar la eficiencia en el control de dicho usuario y sus demandas de agua potable; en este ejemplo, primeramente se debe realizar el cambio del medidor para tener la medición precisa del consumo, asegurando con ello que el organismo operador genere derechos reales de recaudación por los volúmenes medidos.

Por otra parte, el organismo operador debe inducir al usuario a reducir sus hábitos de consumo de agua potable mediante la implementación de acciones que conlleven a optimizar el aprovechamiento del agua en los diferentes procesos que este requiera.

Con este estudio se pretende lograr el máximo aprovechamiento de este recurso vital no renovable, fomentando una nueva cultura del cuidado del agua que evite su uso irracional, permitiendo recuperar importantes volúmenes de este elemento; generando con ello la captación de recursos económicos que pueden ser empleados en la operación, mantenimiento, conservación, rehabilitación, mejoramiento y realización de nueva infraestructura hidráulica.



## 6.2. Estudios realizados

Para una ciudad del occidente del país se efectuó un estudio sobre un parque de 60 medidores, a continuación se presentan las características básicas de 10 megasuarios.

Tabla 6.3. Relación de usuarios auditados.

Folio de usuario	Giro comercial	Diámetro
658	Clinica, hospital y sanatorio	75 mm
1039	Hospital	200 mm
2084	Comercial	75 mm
2135	Hoteles y moteles	75 mm
2297	Embotelladora	100 mm
3951	Industrial	150 mm
4184	Industria alimenticia	100 mm
4185	Industria alimenticia	100 mm
5756	Industria alimenticia	100 mm
6222	Edificios comerciales	75 mm

Tabla 6.4. Resultados obtenidos.

Folio	Giro comercial	Diámetro	Consumo		Precisión Medidor usuario (%)	Recomendaciones**
			Medidor usuario (m <sup>3</sup> )	Medidor auditor (m <sup>3</sup> )		
658	Clinica, hospital y sanatorio	75 mm	210.00	277.46	75.69	Instalar medidor de turbina.
1039	Hospital	200 mm	1,524.00	1,667.83	91.38	Instalar medidor compuesto.
2084	Comercial	75 mm	137.00	215.33	63.62	Instalar medidor de turbina de 50 mm.
2135	Hoteles y moteles	75 mm	110.08	149.36	73.70	Instalar medidor de turbina.
2297	Embotelladora	100 mm	4.03	78.66	5.12	Instalar medidor de turbina de 75 mm.
3951	Industrial	150 mm	1,392.50	1,439.17	96.76	Instalar medidor de turbina.
4184	Industria alimenticia	100 mm	177.45	228.71	77.59	Instalar medidor compuesto.
4185	Industria alimenticia	100 mm	232.00	255.52	90.80	Instalar medidor compuesto de 75 mm.
5756	Industria alimenticia	100 mm	1,191.50	1,536.34	77.55	Instalar medidor de turbina.
6222	Edificios comerciales	75 mm	653.89	652.00	100.29	Instalar medidor de turbina (opcional).

\*\* En todos los casos puede ser instalado un medidor magnético (Capítulo 5).

Nota: Para tener buena precisión, los medidores deben ser instalados respetando las especificaciones indicadas por el fabricante.



Tabla 6.5. Proyección de facturación por servicio medido con exactitud.

Follo	Diámetro propuesto (mm)	Precisión		Consumo promedio por día		Consumo promedio por bimestre		Facturación bimestral actual (\$)	Facturación bimestral real (\$)	Diferencia (\$)
		Actual (%)	Nueva (%)	Medidor usuario actual (m <sup>3</sup> )	Medidor usuario nuevo (m <sup>3</sup> )	Medidor usuario actual (m <sup>3</sup> )	Medidor usuario nuevo (m <sup>3</sup> )			
658	75	75.69	99.27	70.00	91.81	4,200.00	5,508.61	\$ 157,252.38	\$ 209,897.70	-\$ 52,645.32*
1039	200	91.38	99.75	508.00	554.55	30,480.00	33,273.21	\$ 1,214,496.78	\$ 1,326,867.55	-\$ 112,370.78*
2084	50	63.62	100.83	45.67	72.37	2,740.00	4,342.46	\$ 98,516.58	\$ 162,983.50	-\$ 64,466.92*
2135	75	73.70	100.07	36.69	49.82	2,201.60	2,989.28	\$ 76,856.74	\$ 108,545.04	-\$ 31,688.29*
2297	75	5.12	99.00	1.34	25.96	80.60	1,557.43	\$ 624.43	\$ 50,941.59	-\$ 50,317.16*
3951	150	96.76	100.38	464.17	481.55	27,850.00	28,892.78	\$ 1,108,691.88	\$ 1,150,642.79	-\$ 41,950.92*
4184	100	77.59	99.50	59.15	75.86	3,549.00	4,551.33	\$ 131,062.65	\$ 171,386.34	-\$ 40,323.70*
4185	75	90.80	99.18	77.33	84.47	4,640.00	5,068.49	\$ 174,953.58	\$ 192,191.92	-\$ 17,238.34*
5756	100	77.55	99.65	397.17	510.33	23,830.00	30,619.85	\$ 946,967.28	\$ 1,220,122.85	-\$ 273,155.58*
6222	75	100.29	99.09	217.96	215.36	13,077.80	12,921.34	\$ 514,406.27	\$ 508,111.72	\$ 6,294.55

\*Las cantidades con signo negativo indican que el Organismo Operador está dejando de percibir derechos de recaudación debido a la mala medición efectuada en las tomas domiciliarias de los usuarios.

A continuación se presentan los formatos de instrumentación y las gráficas resultantes de las instrumentaciones efectuadas.

**DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 01**

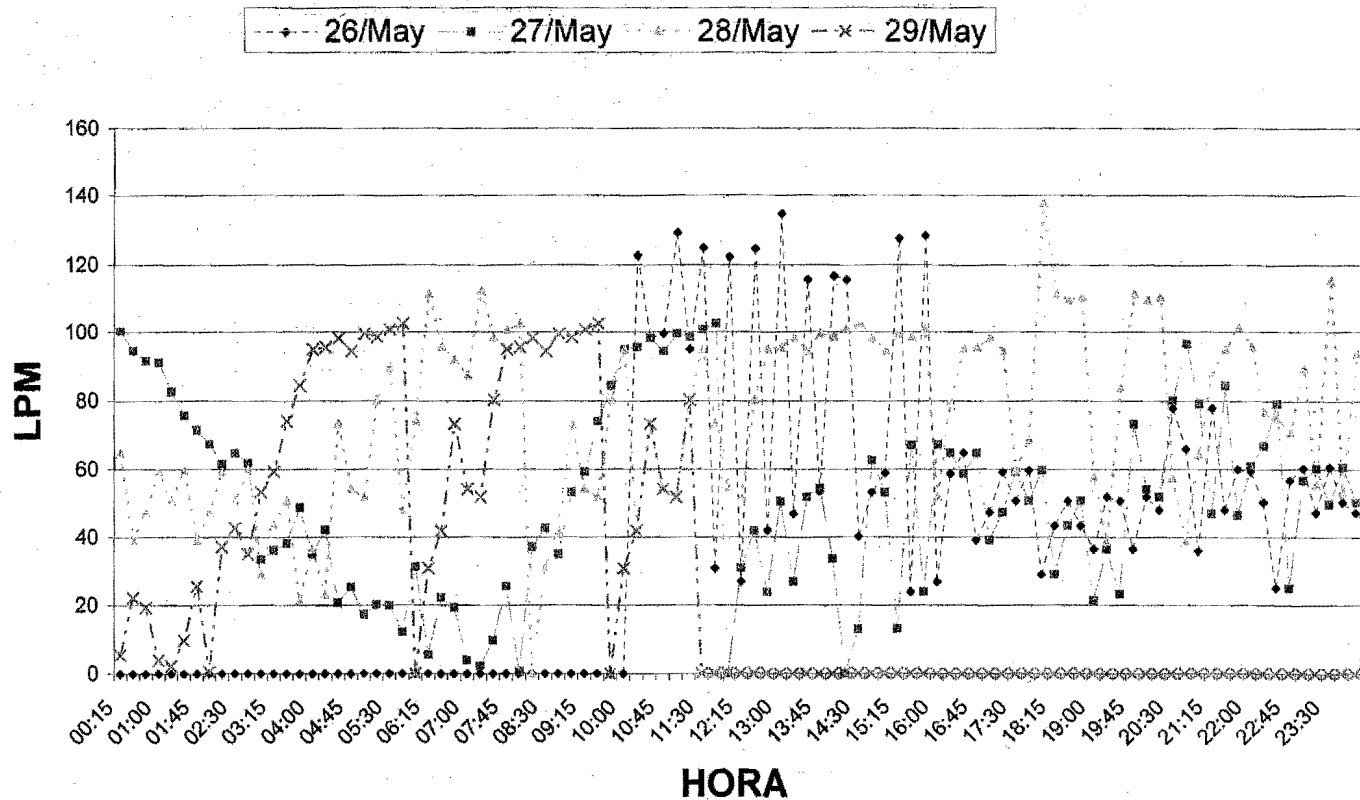
<b>FOLIO</b>		658	HOSPITAL
<b>DATOS MEDIDOR INSTALADO</b>			
LECTURAS MEDIDOR:	INICIAL	853.500.00	M <sup>3</sup>
	FINAL	853.710.00	M <sup>3</sup>
	NUM. SERIE MEDIDOR INSTALADO	AZTECA	MA304620
	DIAMETRO DEL MEDIDOR INSTALADO	75	MM
<b>DATOS INSTRUMENTACION</b>			
	NUM. DE SERIE MEDIDOR AUDITOR	1	
	NUM. DE SERIE LOGGER	1	
	FECHA DE INSTALACIÓN	26/May	
	HORA DE INSTALACIÓN	10:00	
	FECHA DE DESINSTALACIÓN	29/May	
	HORA DE DESINSTALACIÓN	11:15	

**DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 02**

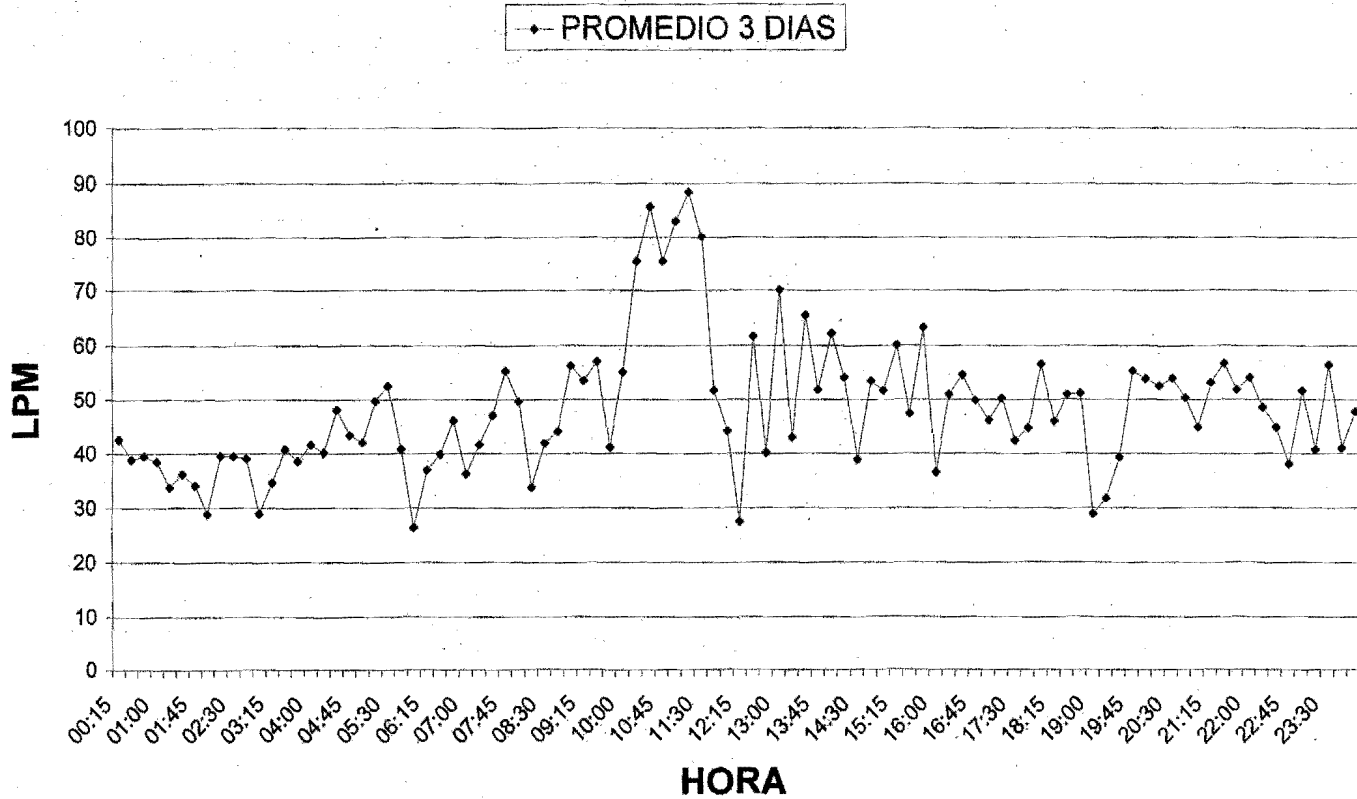
<b>DATOS TECNICOS DEL PATRON DE FLUJO:</b>			
	FLUJO MINIMO	0.00	LPM
	FLUJO MAXIMO	137.73	LPM
	FLUJO PROMEDIO	48.33	LPM
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>75</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	9.48	LPM
	FLUJO MAXIMO	2,535.95	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,362.60	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	99.27%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>100</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	22.71	LPM
	FLUJO MAXIMO	3,974.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,930.35	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	98.03%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>150</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	45.42	LPM
	FLUJO MAXIMO	10,030.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	4,920.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	91.77%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>200</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	94.63	LPM
	FLUJO MAXIMO	11,733.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	5,677.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	87.25%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>250</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	170.33	LPM
	FLUJO MAXIMO	20,249.75	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	13,247.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	0.00%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>300</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	170.33	LPM
	FLUJO MAXIMO	24,602.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	12,112.00	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	0.00%	%
<b>CONCLUSION</b>			
	MEDIDOR O.K. ?	NO	
	DIAMETRO ACTUAL	75	MM
	EXACTITUD ACTUAL	75.69%	%
	CONSUMO MEDIDO	277.46	M <sup>3</sup>
	CONSUMO REGISTRADO	210.00	M <sup>3</sup>
	MEDIDOR RECOMENDADO	TURBINA	
	DIAMETRO RECOMENDADO	75	MM
	EXACTITUD NUEVA	99.27%	%



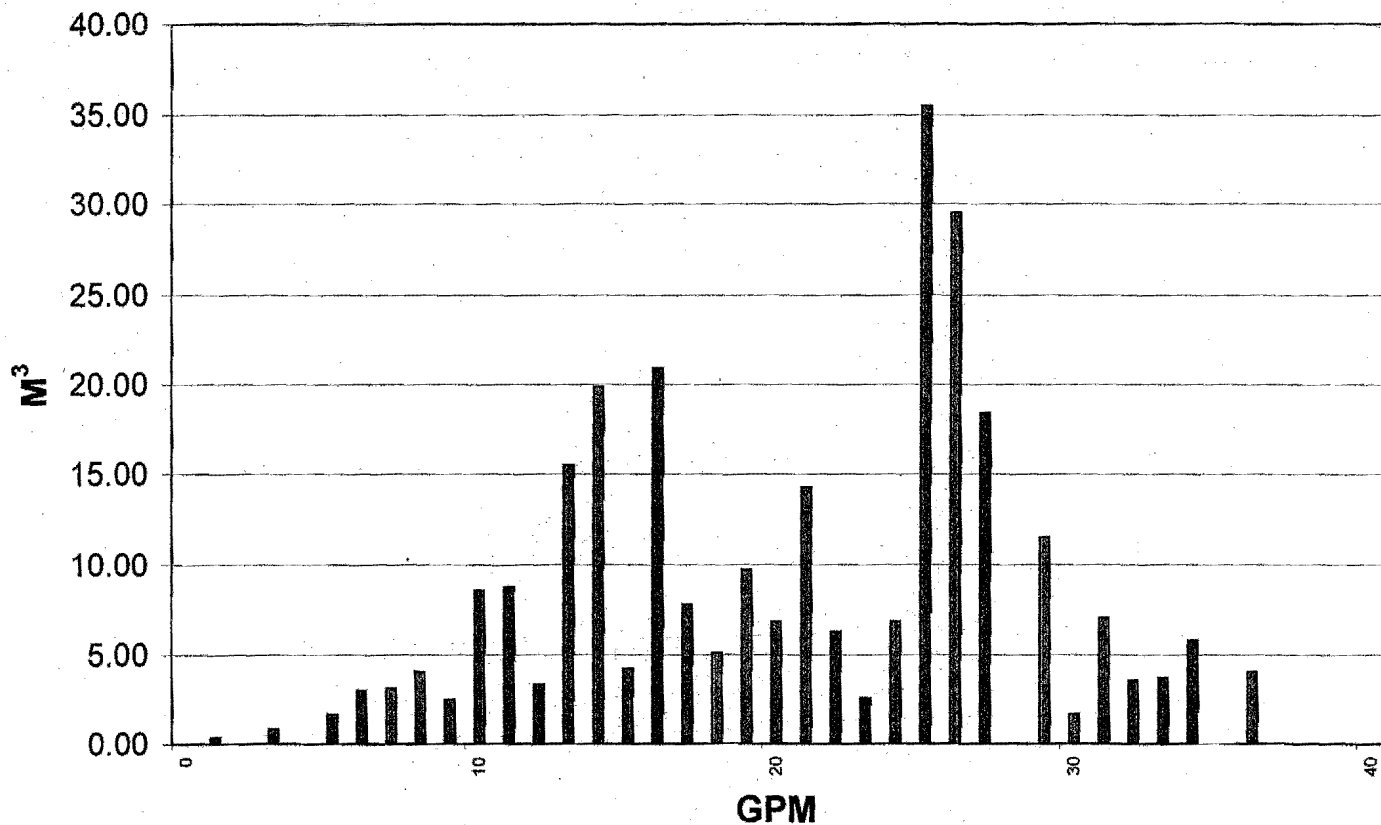
# PATRON DE FLUJO EN LPM, FOLIO 000658



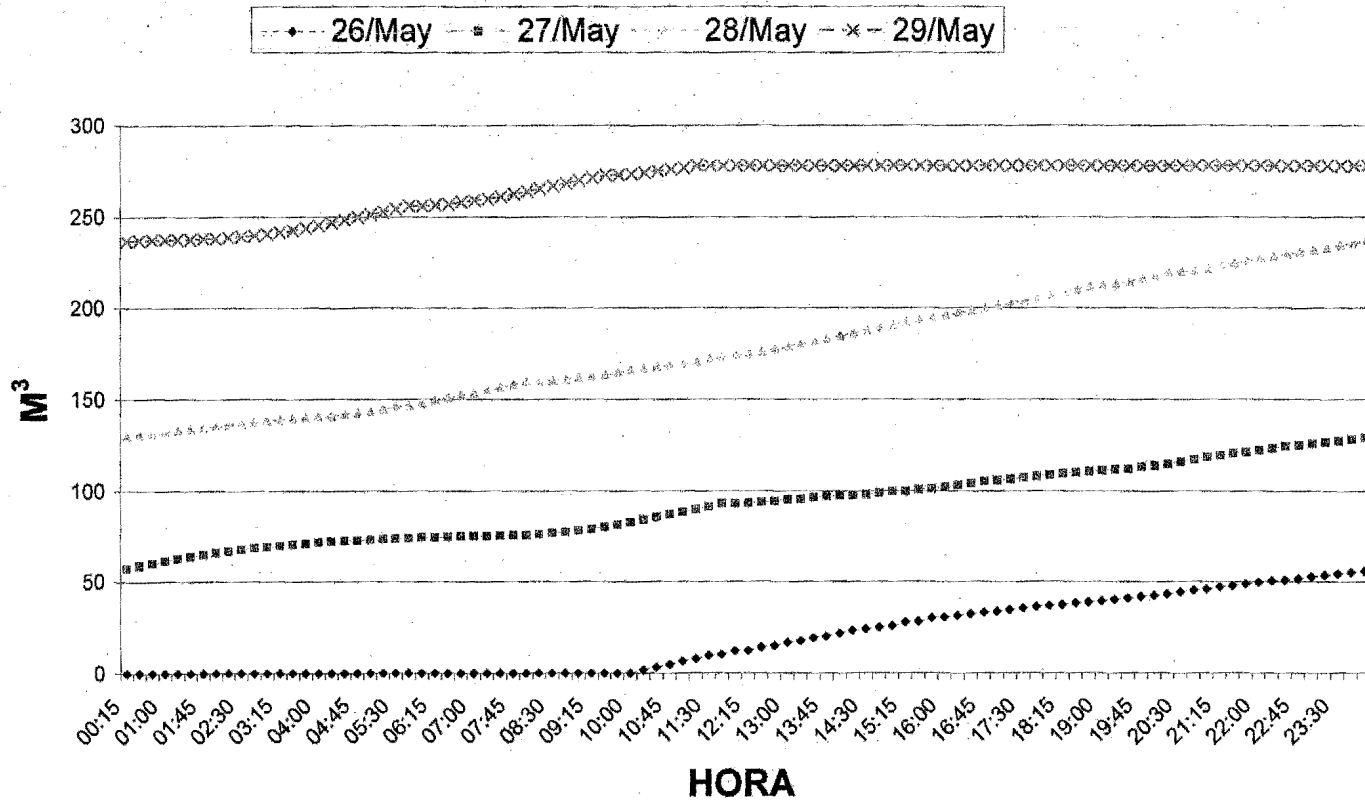
# PROMEDIO DE FLUJO EN LPM, FOLIO 000658



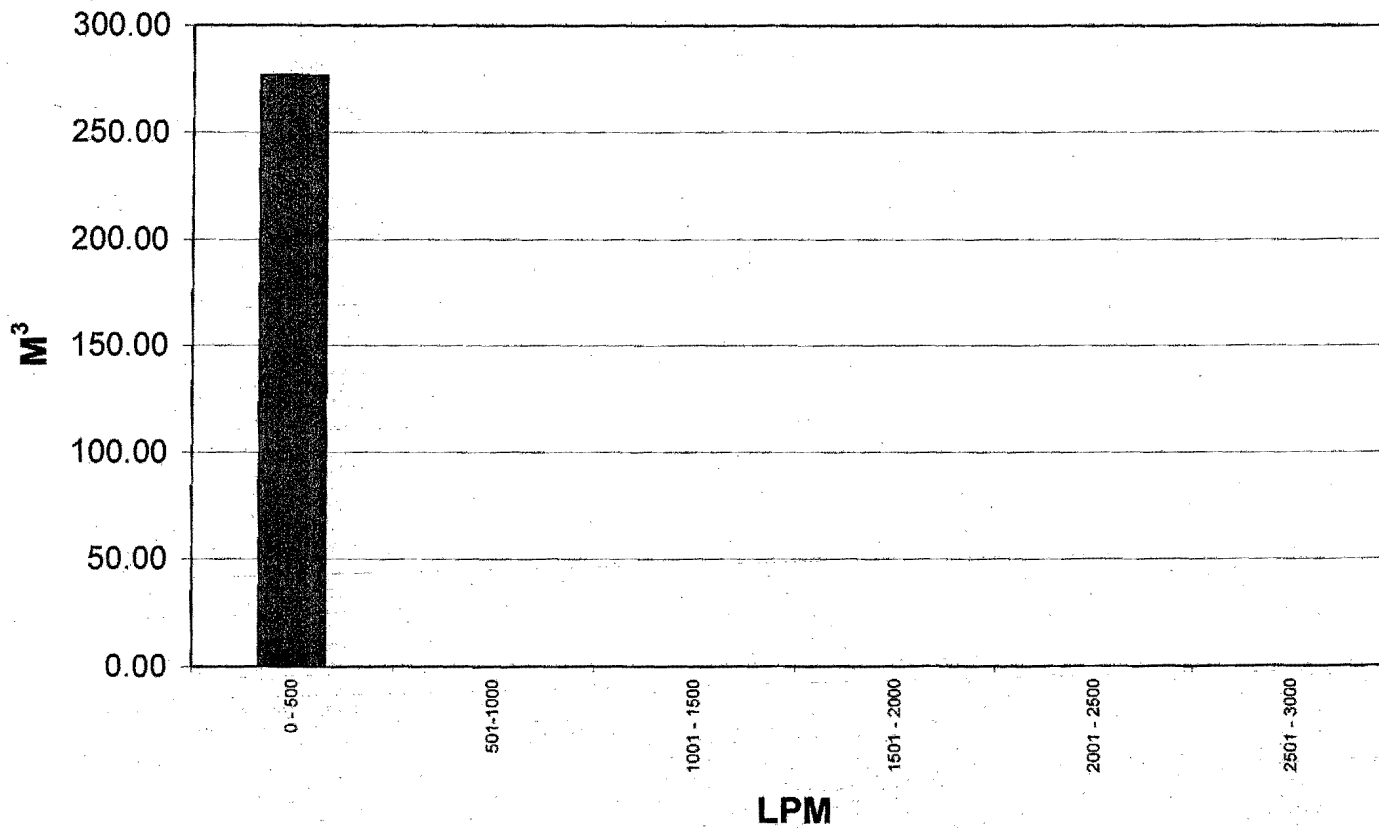
# VOLUMEN (M<sup>3</sup>) & CAUDAL (GPM) FOLIO 000658



# VOLUMEN ACUMULADO FOLIO 000658



# VOLUMEN (M<sup>3</sup>) & CAUDAL (LPM) FOLIO 000658



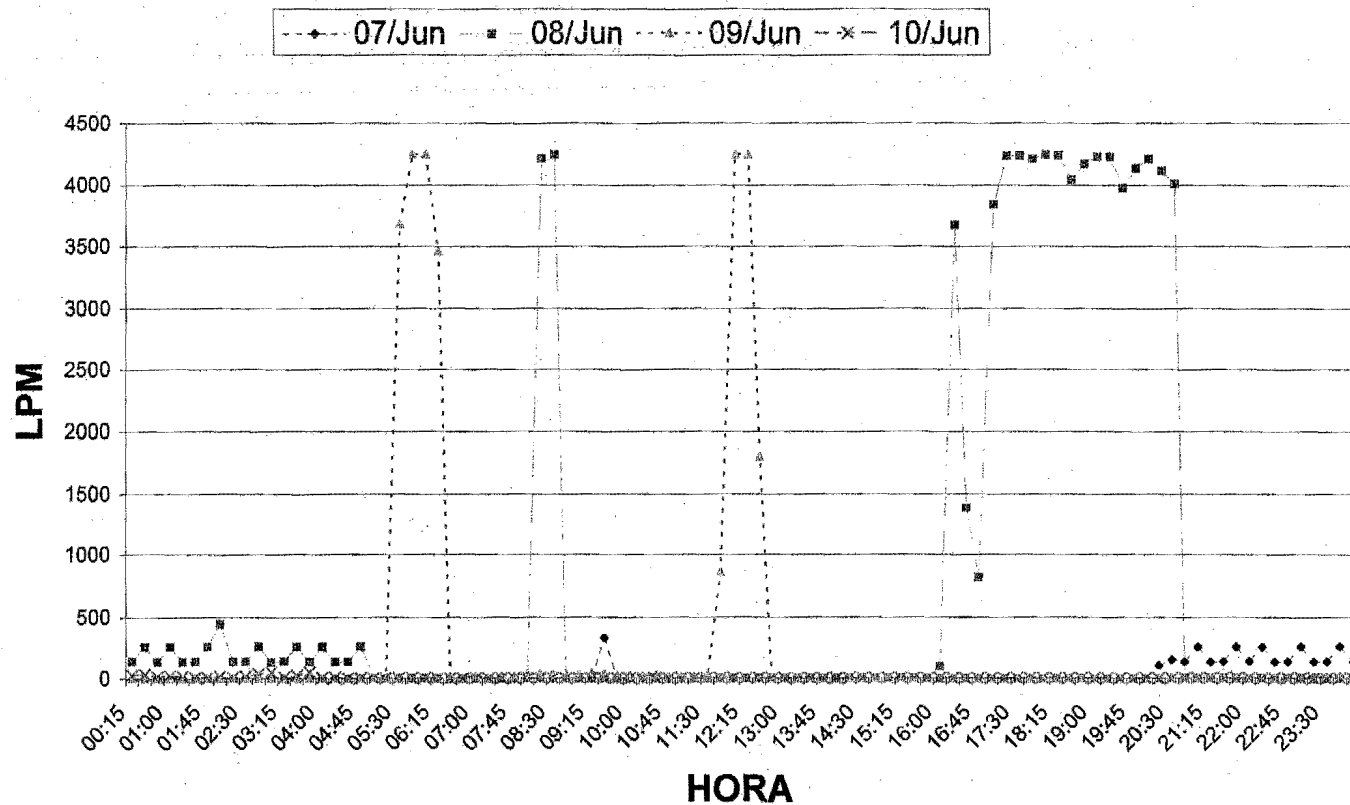
### DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 01

<b>FOLIO</b>	1039	HOSPITAL
<b>DATOS MEDIDOR INSTALADO</b>		
LECTURAS MEDIDOR:	INICIAL	162,238.00
	FINAL	163,762.00
NUM. SERIE MEDIDOR INSTALADO	AZTECA	MA805347
DIAMETRO DEL MEDIDOR INSTALADO	200	MM
<b>DATOS INSTRUMENTACION</b>		
NUM. DE SERIE MEDIDOR AUDITOR	7000	
NUM. DE SERIE LOGGER	7000	
FECHA DE INSTALACIÓN	07/Jun	
HORA DE INSTALACIÓN	15:20	
FECHA DE DESINSTALACIÓN	10/Jun	
HORA DE DESINSTALACIÓN	11:25	

### DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 02

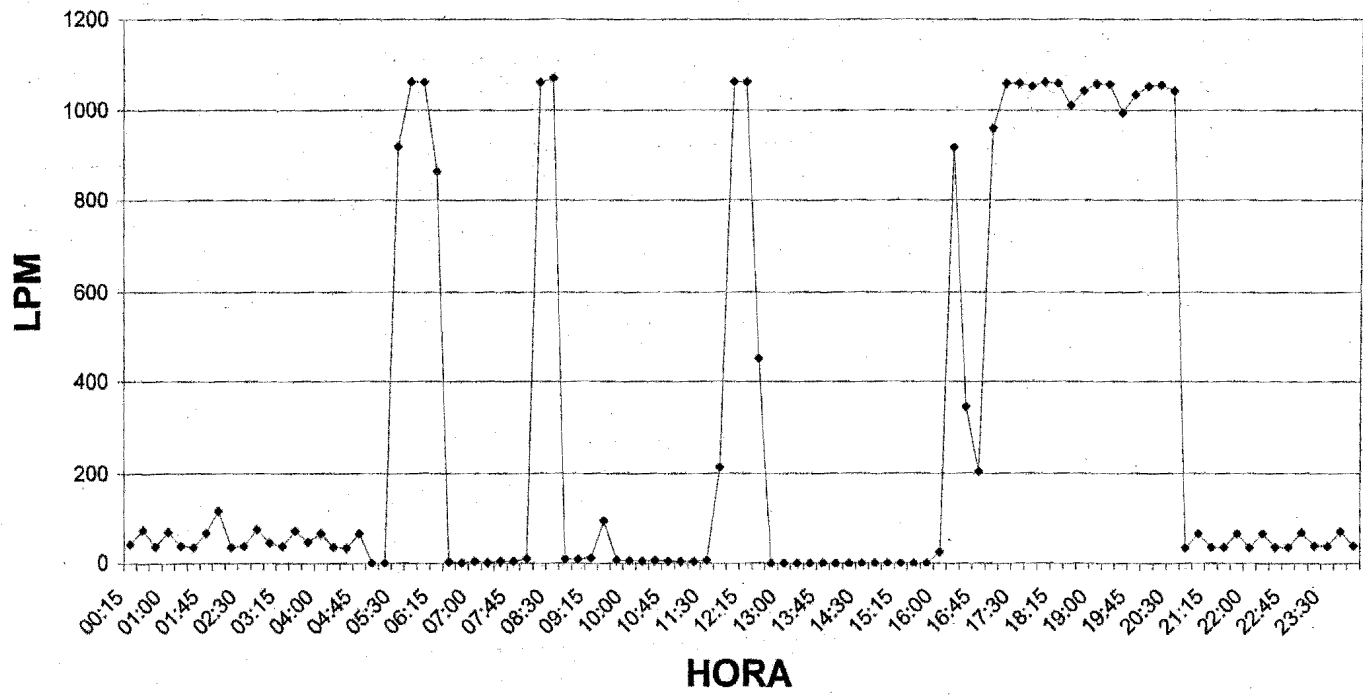
<b>DATOS TECNICOS DEL PATRON DE FLUJO:</b>		
FLUJO MINIMO	0.00	LPM
FLUJO MAXIMO	4,244.93	LPM
FLUJO PROMEDIO	294.48	LPM
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		
	<b>75</b>	<b>MM</b>
FLUJO MINIMO	9.46	LPM
FLUJO MAXIMO	2,535.95	LPM
FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,362.60	LPM
EXACTITUD OBTENIDA	11.38%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		
	<b>100</b>	<b>MM</b>
FLUJO MINIMO	22.71	LPM
FLUJO MAXIMO	3,974.25	LPM
FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,930.35	LPM
EXACTITUD OBTENIDA	24.48%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		
	<b>150</b>	<b>MM</b>
FLUJO MINIMO	45.42	LPM
FLUJO MAXIMO	10,030.25	LPM
FLUJO PROMEDIO MAXIMO	4,920.50	LPM
EXACTITUD OBTENIDA	99.57%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		
	<b>200</b>	<b>MM</b>
FLUJO MINIMO	94.63	LPM
FLUJO MAXIMO	11,733.50	LPM
FLUJO PROMEDIO MAXIMO	5,677.50	LPM
EXACTITUD OBTENIDA	99.75%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		
	<b>250</b>	<b>MM</b>
FLUJO MINIMO	170.33	LPM
FLUJO MAXIMO	20,249.75	LPM
FLUJO PROMEDIO MAXIMO	13,247.50	LPM
EXACTITUD OBTENIDA	95.48%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		
	<b>300</b>	<b>MM</b>
FLUJO MINIMO	170.33	LPM
FLUJO MAXIMO	24,602.50	LPM
FLUJO PROMEDIO MAXIMO	12,112.00	LPM
EXACTITUD OBTENIDA	95.48%	%
<b>CONCLUSION</b>		
MEDIDOR O.K. ?	SI	
DIAMETRO ACTUAL	200	MM
EXACTITUD ACTUAL	91.38%	%
CONSUMO MEDIDO	1,667.83	M <sup>3</sup>
CONSUMO REGISTRADO	1,524.00	M <sup>3</sup>
MEDIDOR RECOMENDADO	COMPUESTO	
DIAMETRO RECOMENDADO	200	MM
EXACTITUD NUEVA	99.75%	%

# PATRON DE FLUJO EN LPM, FOLIO 001039



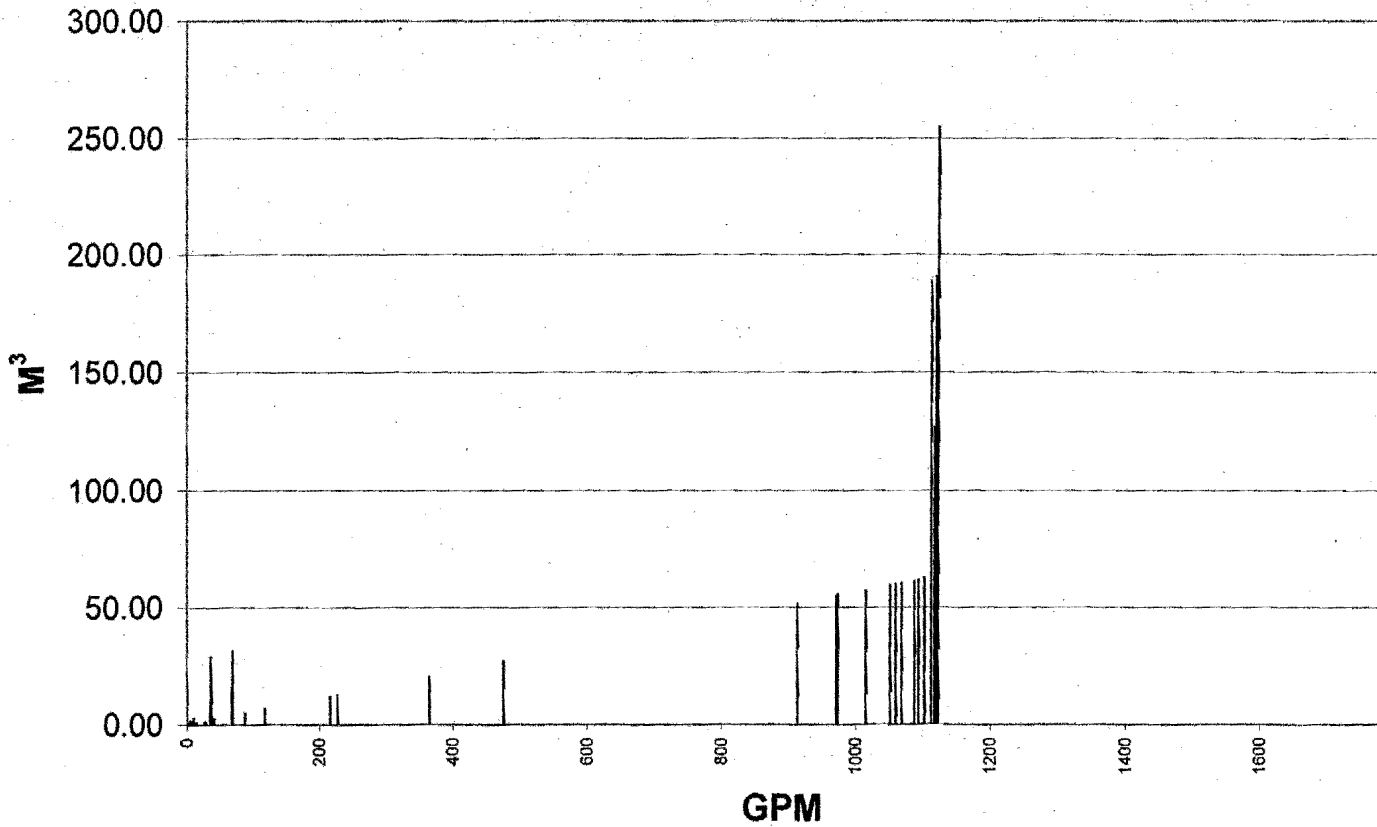
# PROMEDIO DE FLUJO EN LPM, FOLIO 001039

—●— PROMEDIO 3 DIAS



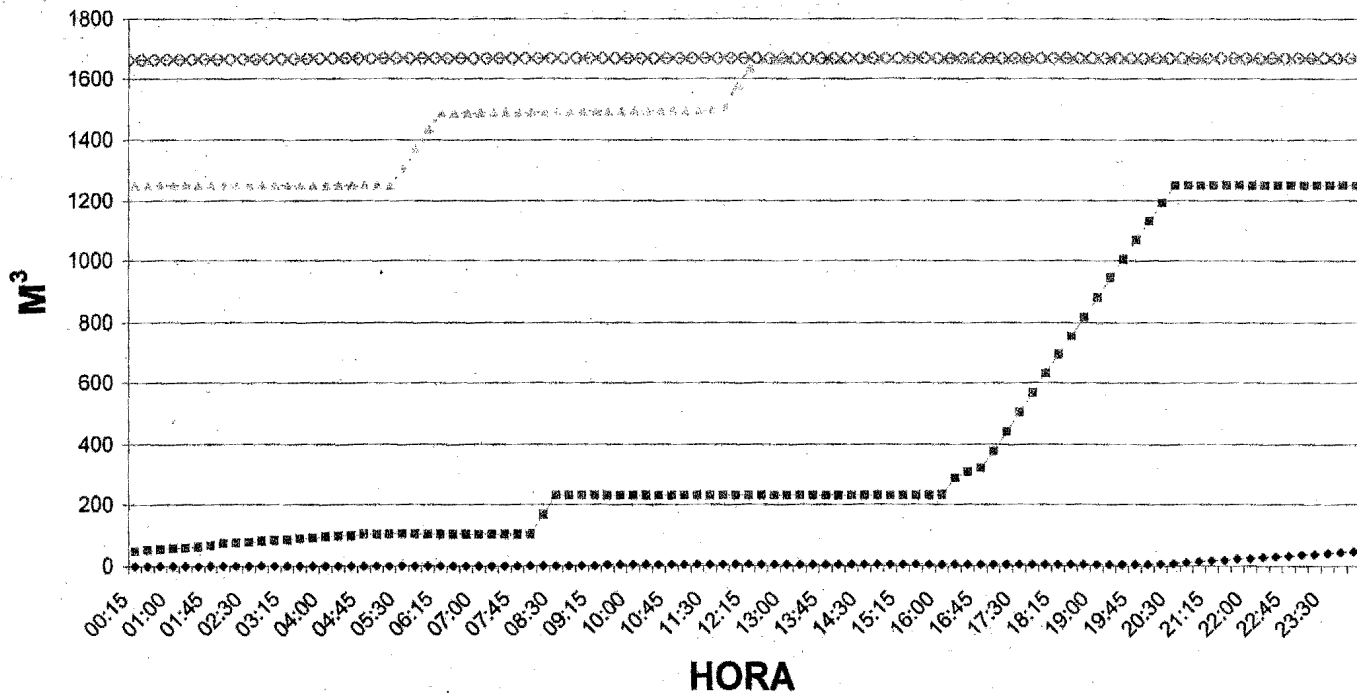


# VOLUMEN (M<sup>3</sup>) & CAUDAL (GPM) FOLIO 001039

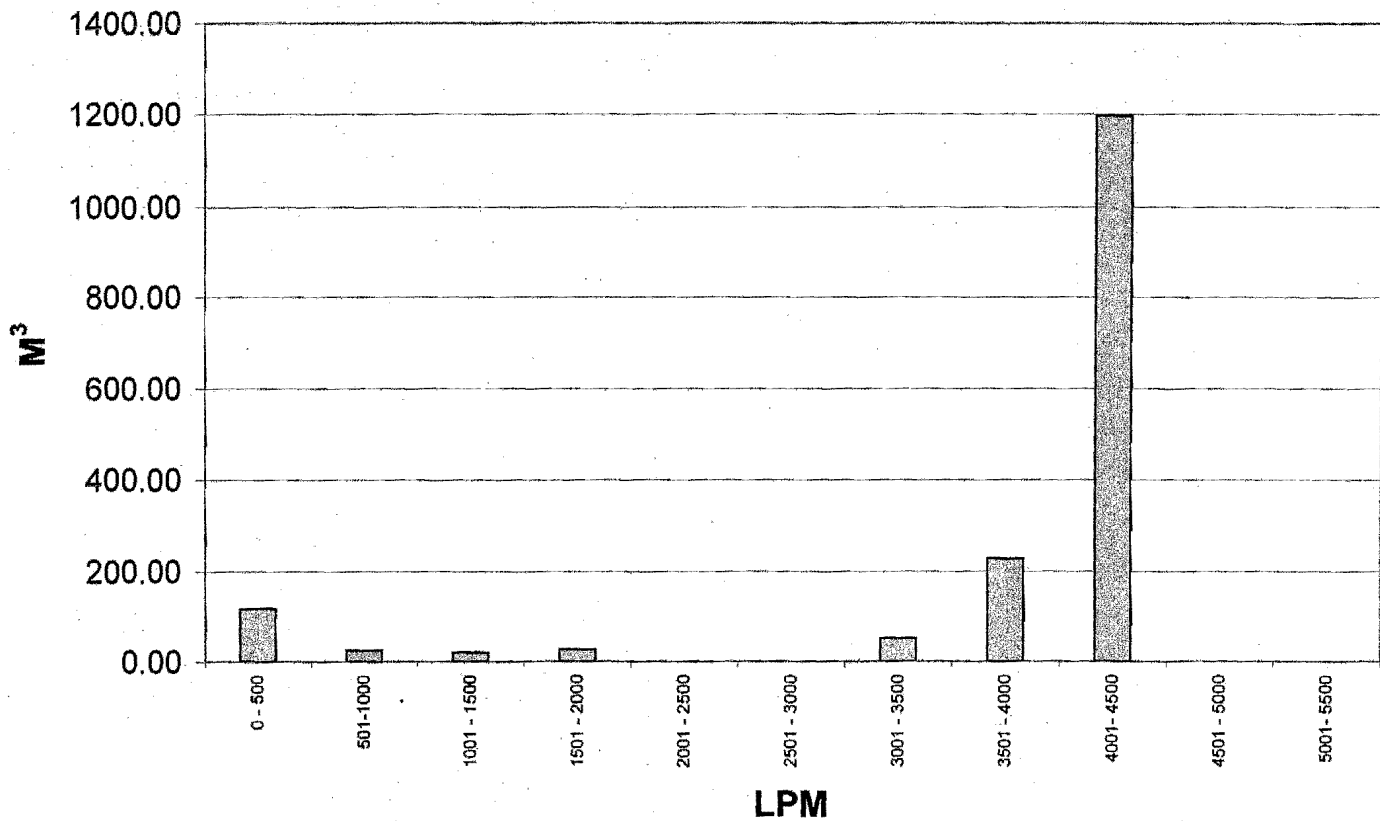


# VOLUMEN ACUMULADO FOLIO 001039

07/Jun   
  08/Jun   
  09/Jun   
  10/Jun



# VOLUMEN (M<sup>3</sup>) & CAUDAL (LPM) FOLIO 001039



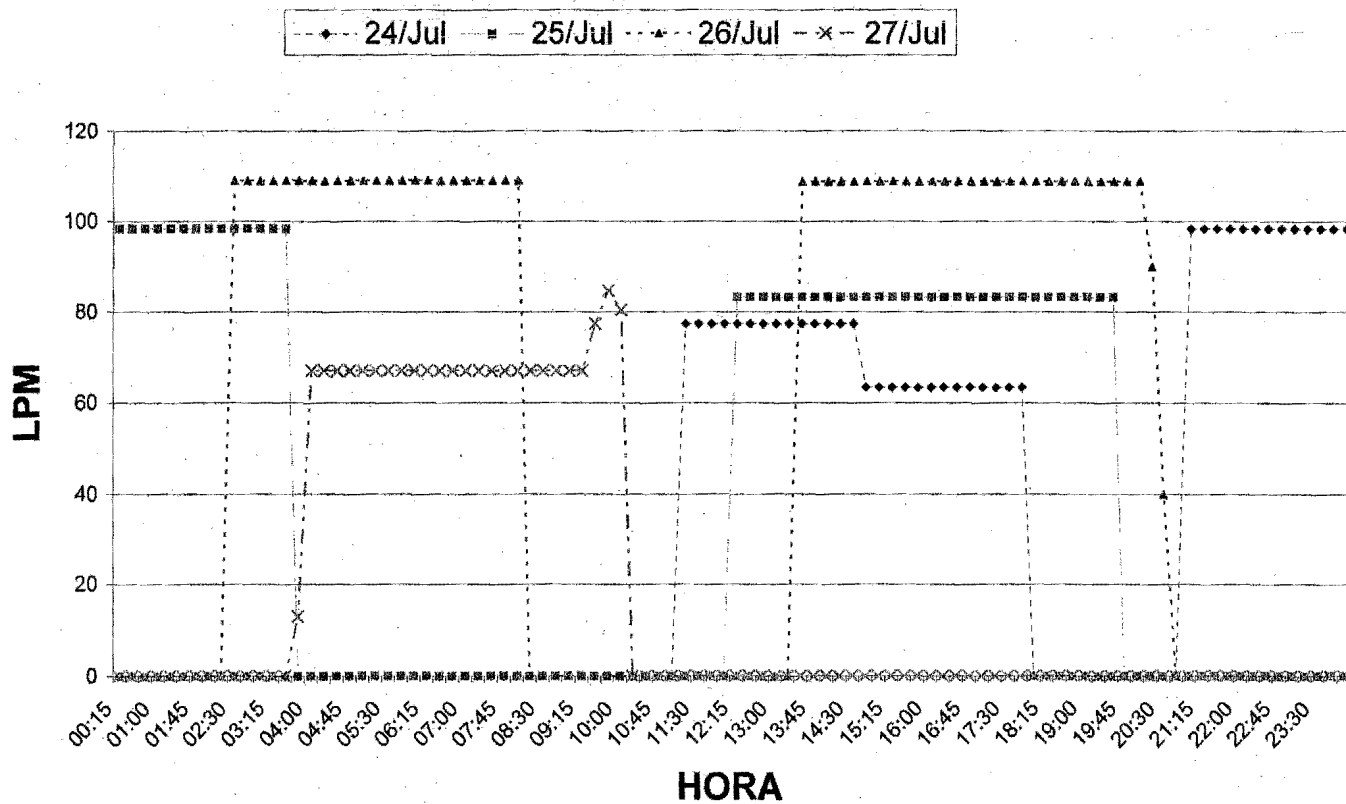
## DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 01

<b>FOLIO</b>		2084	COMERCIAL
<b>DATOS MEDIDOR INSTALADO</b>			
LECTURAS MEDIDOR:	INICIAL	57.268.00	M <sup>3</sup>
	FINAL	57.405.00	M <sup>3</sup>
	NUM. SERIE MEDIDOR INSTALADO	NEPTUNE	31930616
	DIAMETRO DEL MEDIDOR INSTALADO	75	MM
<b>DATOS INSTRUMENTACION</b>			
	NUM. DE SERIE MEDIDOR AUDITOR	SN	
	NUM. DE SERIE LOGGER	SN	
	FECHA DE INSTALACIÓN	24/Jul	
	HORA DE INSTALACIÓN	11.00	
	FECHA DE DESINSTALACIÓN	27/Jul	
	HORA DE DESINSTALACIÓN	09.45	

## DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 02

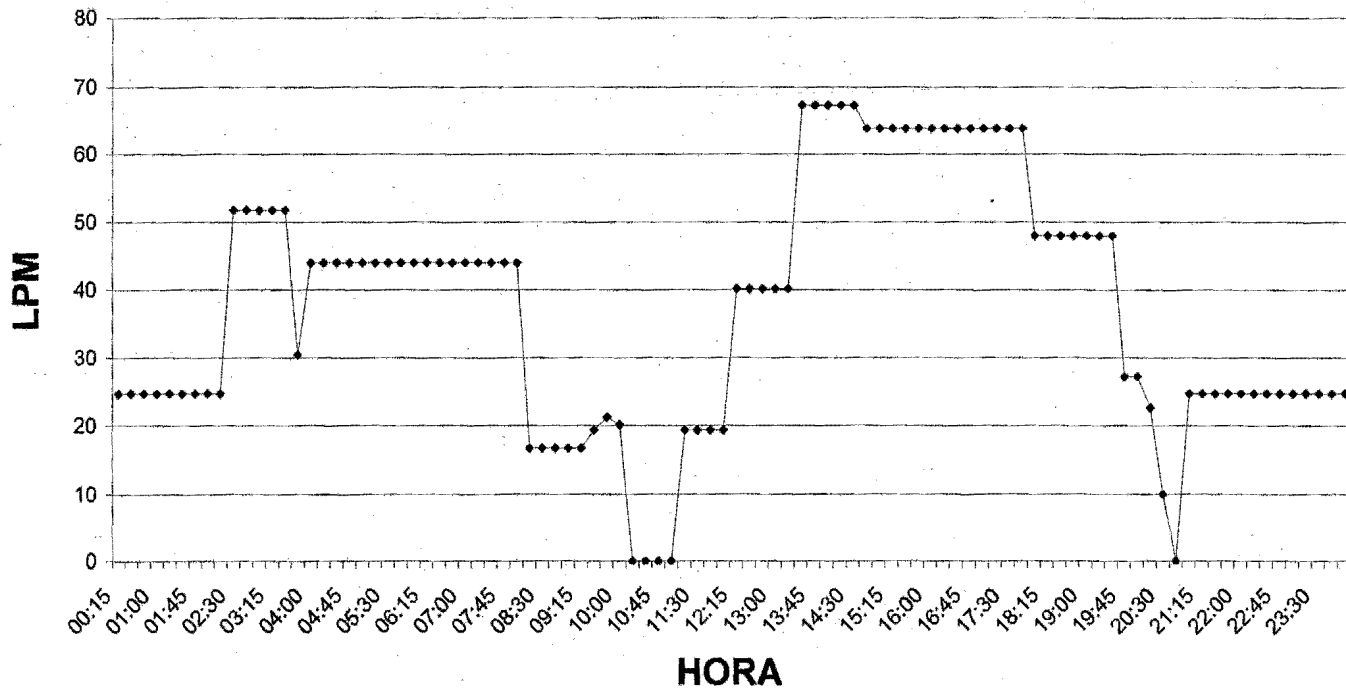
<b>DATOS TECNICOS DEL PATRON DE FLUJO:</b>			
	FLUJO MINIMO	0.00	LPM
	FLUJO MAXIMO	108.75	LPM
	FLUJO PROMEDIO	37.66	LPM
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>50</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	7.57	LPM
	FLUJO MAXIMO	297.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	136.26	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	100.83%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>75</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	9.46	LPM
	FLUJO MAXIMO	2,535.95	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,362.60	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	98.47%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>100</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	22.71	LPM
	FLUJO MAXIMO	3,974.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,930.35	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	96.10%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>150</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	45.42	LPM
	FLUJO MAXIMO	10,030.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	4,920.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	95.32%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>200</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	94.63	LPM
	FLUJO MAXIMO	11,733.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	5,677.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	94.20%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>250</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	170.33	LPM
	FLUJO MAXIMO	20,249.75	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	13,247.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	0.00%	%
<b>CONCLUSION</b>			
	MEDIDOR O.K. ?	NO	
	DIAMETRO ACTUAL	75	MM
	EXACTITUD ACTUAL	63.62%	%
	CONSUMO MEDIDO	215.33	M <sup>3</sup>
	CONSUMO REGISTRADO	137.00	M <sup>3</sup>
	MEDIDOR RECOMENDADO	TURBINA	
	DIAMETRO RECOMENDADO	50	MM
	EXACTITUD NUEVA	100.83%	%

# PATRON DE FLUJO EN LPM, FOLIO 002084

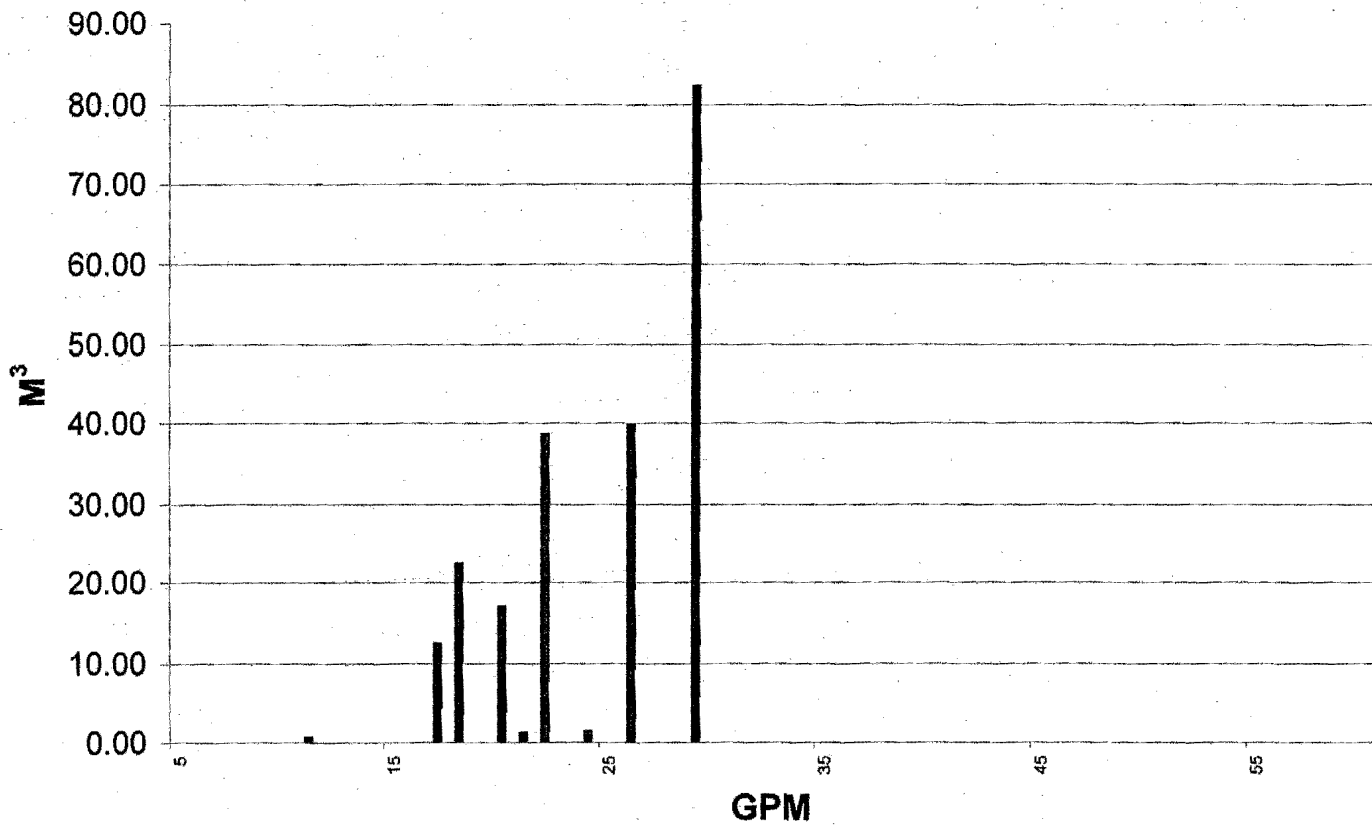


# PROMEDIO DE FLUJO EN LPM, FOLIO 002084

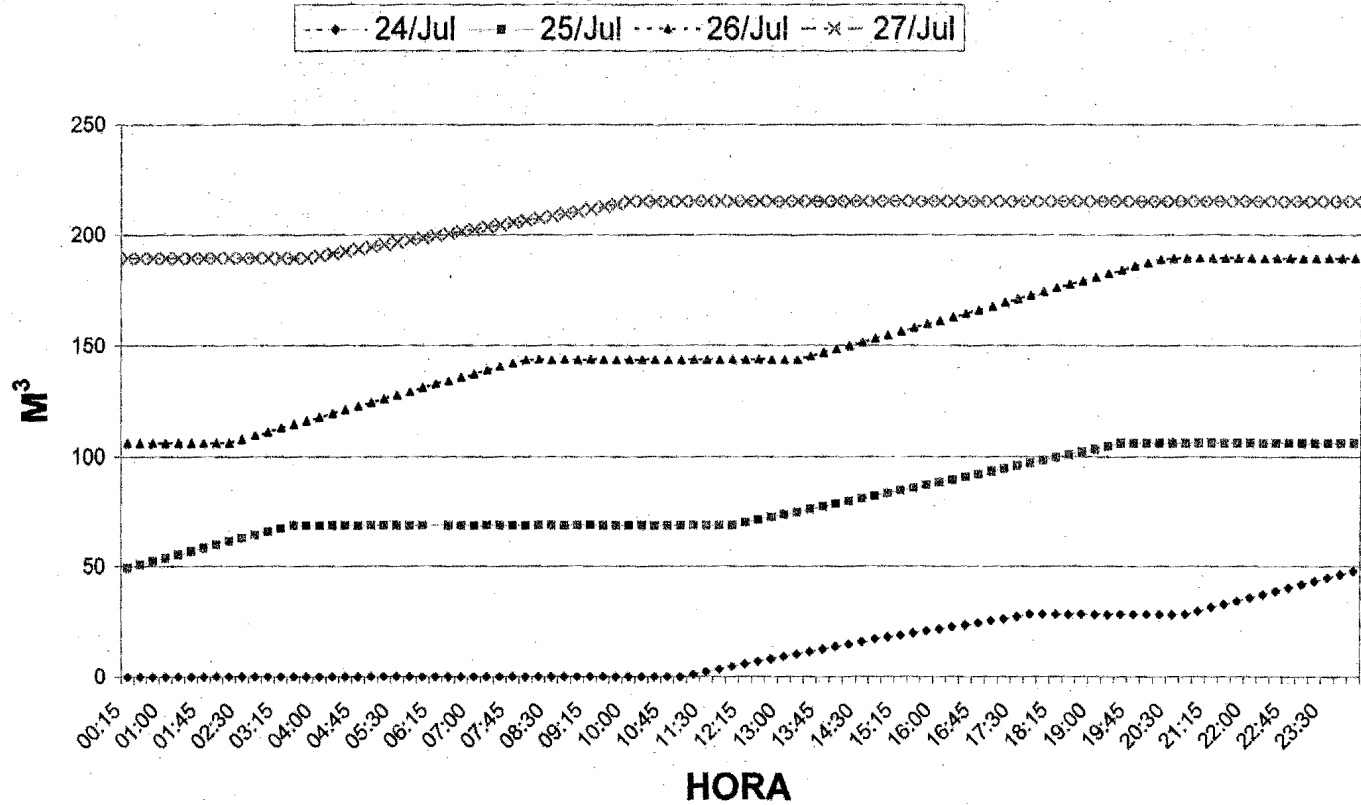
—●— PROMEDIO 3 DIAS



# VOLUMEN (M<sup>3</sup>) & CAUDAL (GPM) FOLIO 002084

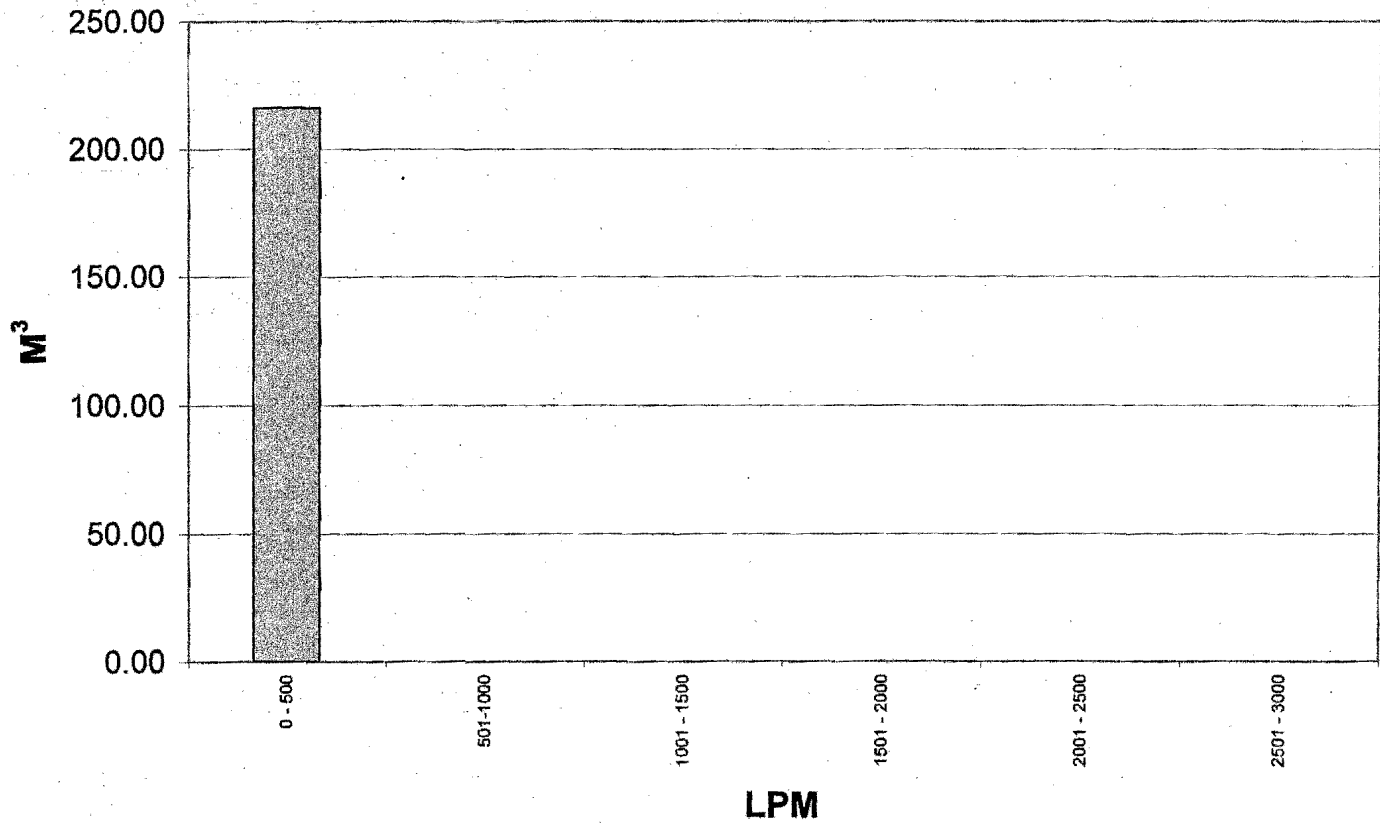


# VOLUMEN ACUMULADO FOLIO 002084





# VOLUMEN (M<sup>3</sup>) & CAUDAL (LPM) FOLIO 002084



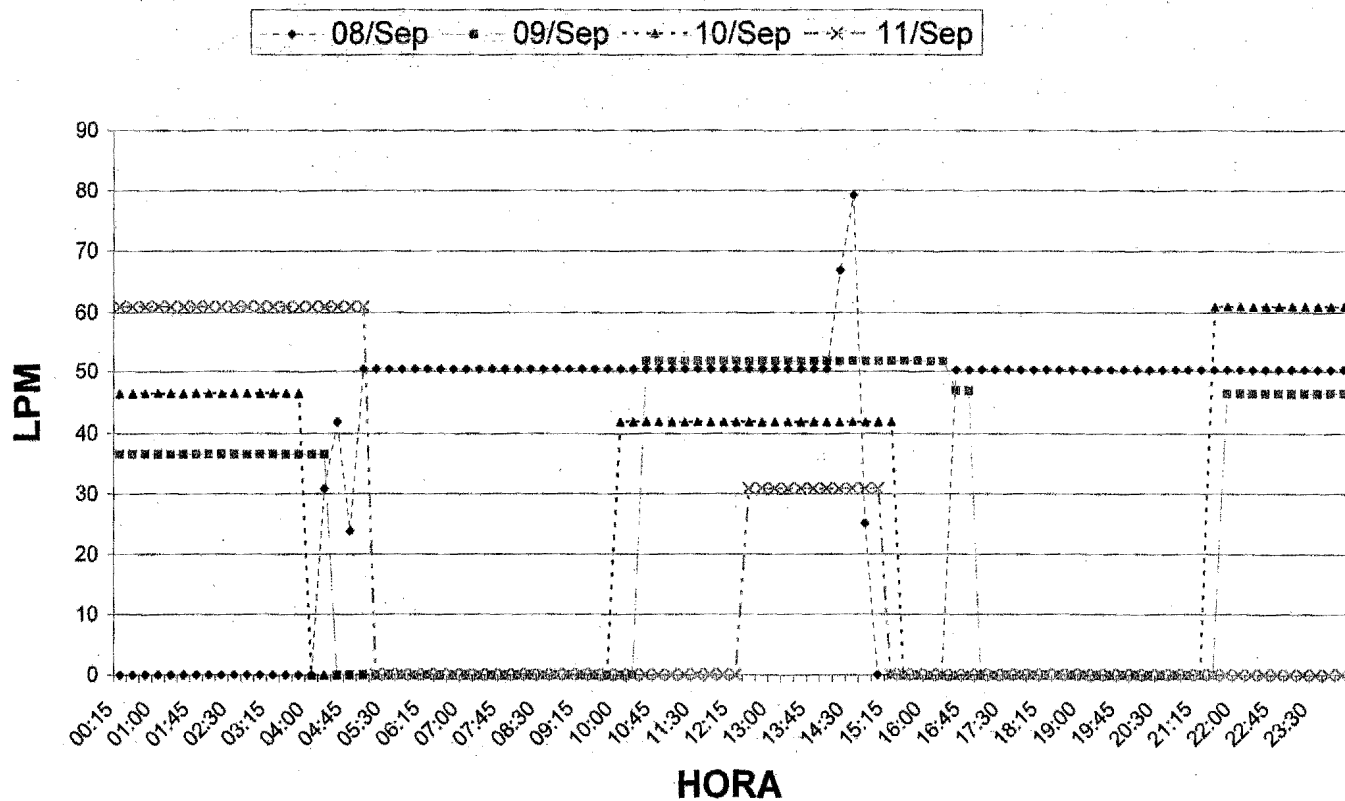
### DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 01

<b>FOLIO</b>		2135	HOTEL Y MOTELES
<b>DATOS MEDIDOR INSTALADO</b>			
LECTURAS MEDIDOR:	INICIAL	9.201.92	M <sup>3</sup>
	FINAL	9.312.00	M <sup>3</sup>
	NUM. SERIE MEDIDOR INSTALADO	NEPTUNE	70037016
	DIAMETRO DEL MEDIDOR INSTALADO	75	MM
<b>DATOS INSTRUMENTACION</b>			
	NUM. DE SERIE MEDIDOR AUDITOR	300446	
	NUM. DE SERIE LOGGER	700058	
	FECHA DE INSTALACIÓN	08/Sep	
	HORA DE INSTALACIÓN	13:25	
	FECHA DE DESINSTALACIÓN	11/Sep	
	HORA DE DESINSTALACIÓN	14:50	

### DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 02

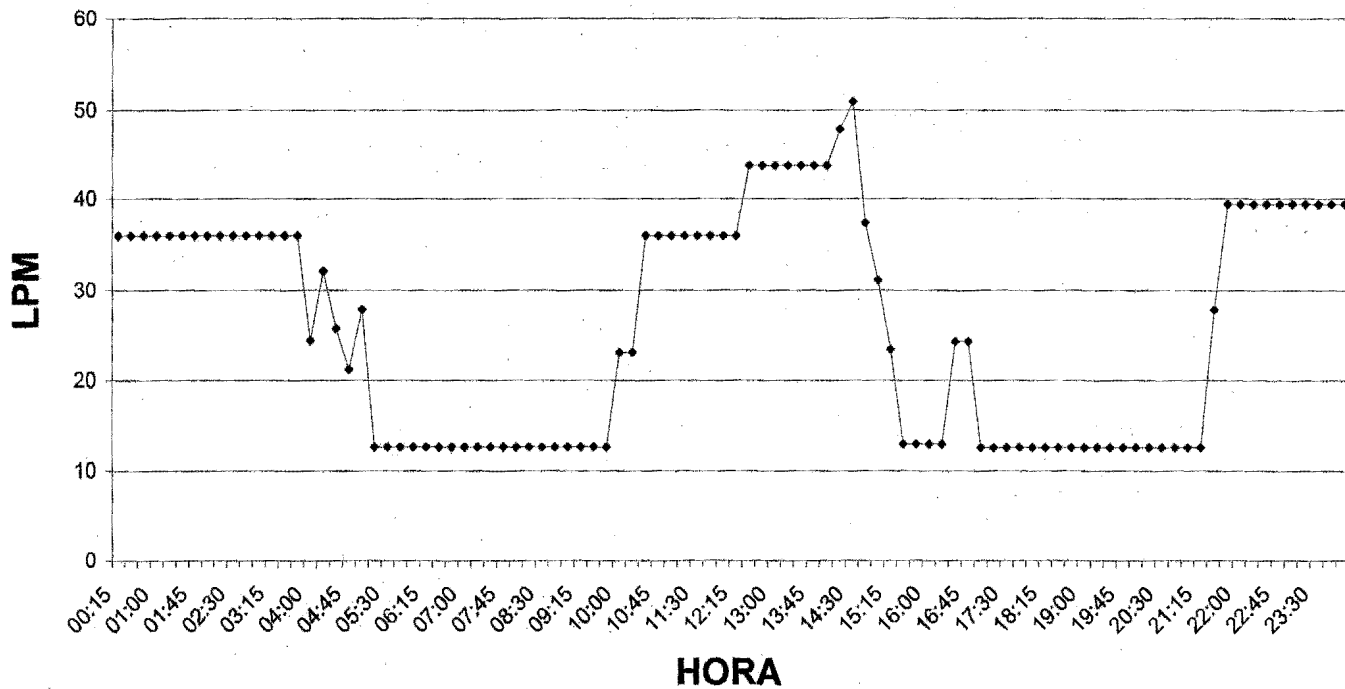
<b>DATOS TECNICOS DEL PATRON DE FLUJO:</b>			
	FLUJO MINIMO	0.00	LPM
	FLUJO MAXIMO	79.23	LPM
	FLUJO PROMEDIO	25.72	LPM
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		<b>75</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	9.46	LPM
	FLUJO MAXIMO	2.535.95	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1.362.60	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	100.07%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		<b>100</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	22.71	LPM
	FLUJO MAXIMO	3.974.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1.930.35	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	98.85%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		<b>150</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	45.42	LPM
	FLUJO MAXIMO	10.030.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	4.920.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	89.44%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		<b>200</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	94.63	LPM
	FLUJO MAXIMO	11.733.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	5.677.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	83.89%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		<b>250</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	170.33	LPM
	FLUJO MAXIMO	20.249.75	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	13.247.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	0.00%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		<b>300</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	170.33	LPM
	FLUJO MAXIMO	24.602.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	12.112.00	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	0.00%	%
<b>CONCLUSION</b>			
	MEDIDOR O.K. ?	NO	
	DIAMETRO ACTUAL	75	MM
	EXACTITUD ACTUAL	73.70%	%
	CONSUMO MEDIDO	149.36	M <sup>3</sup>
	CONSUMO REGISTRADO	110.08	M <sup>3</sup>
	MEDIDOR RECOMENDADO	TURBINA	
	DIAMETRO RECOMENDADO	75	MM
	EXACTITUD NUEVA	100.07%	%

# PATRON DE FLUJO EN LPM, FOLIO 002135

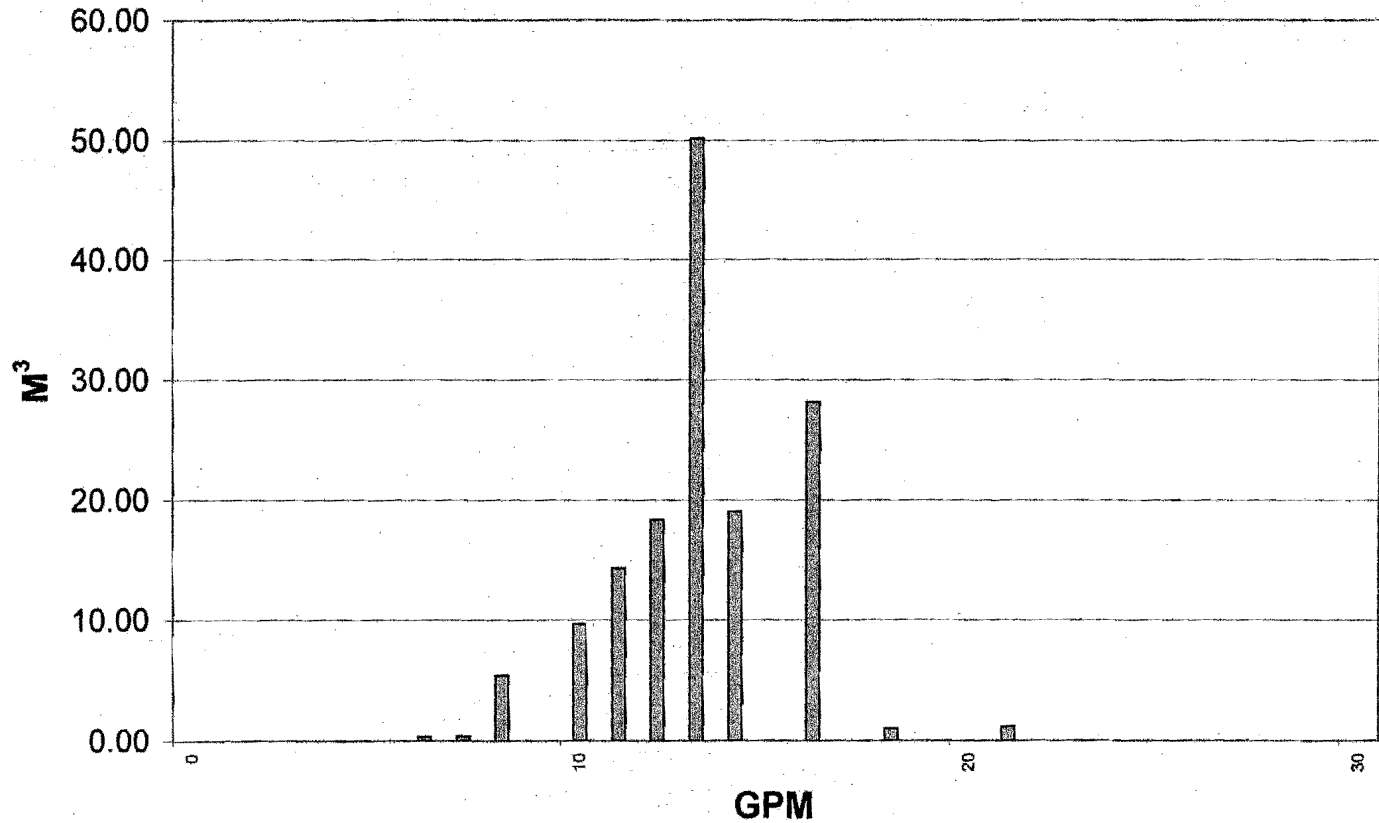


# PROMEDIO DE FLUJO EN LPM, FOLIO 002135

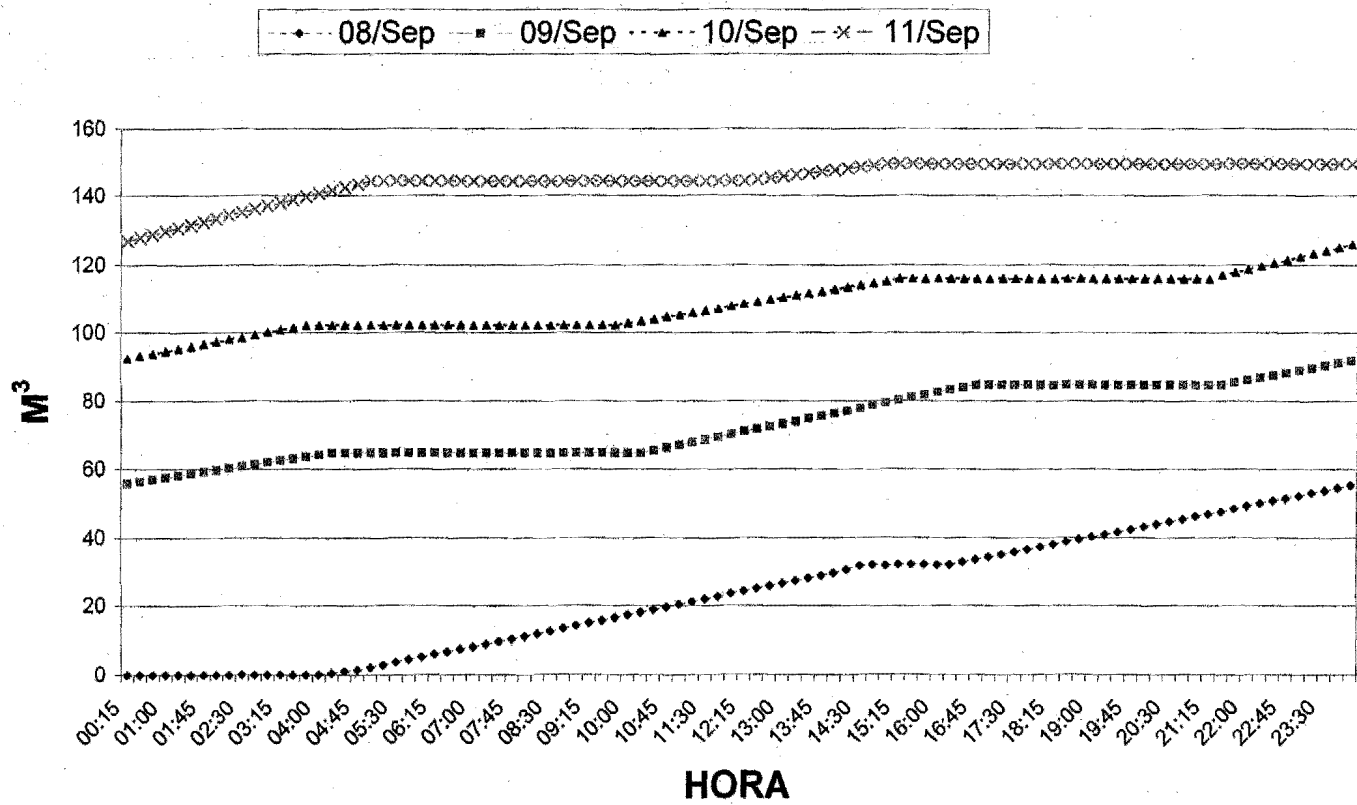
—●— PROMEDIO 3 DIAS



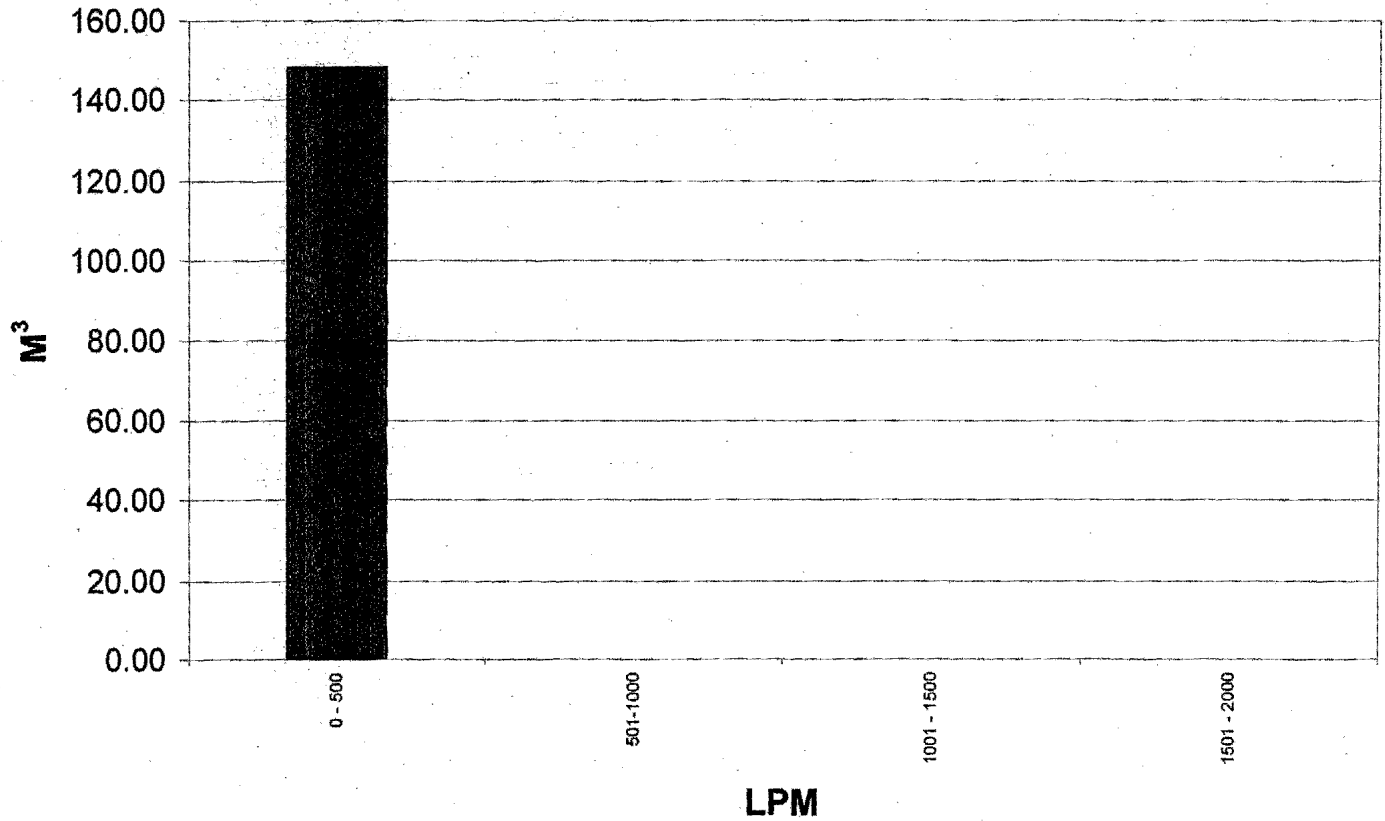
# VOLUMEN (M<sup>3</sup>) & CAUDAL (GPM) FOLIO 002135



# VOLUMEN ACUMULADO FOLIO 002135



# VOLUMEN (M<sup>3</sup>) & CAUDAL (LPM) FOLIO 002135



**DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 01**

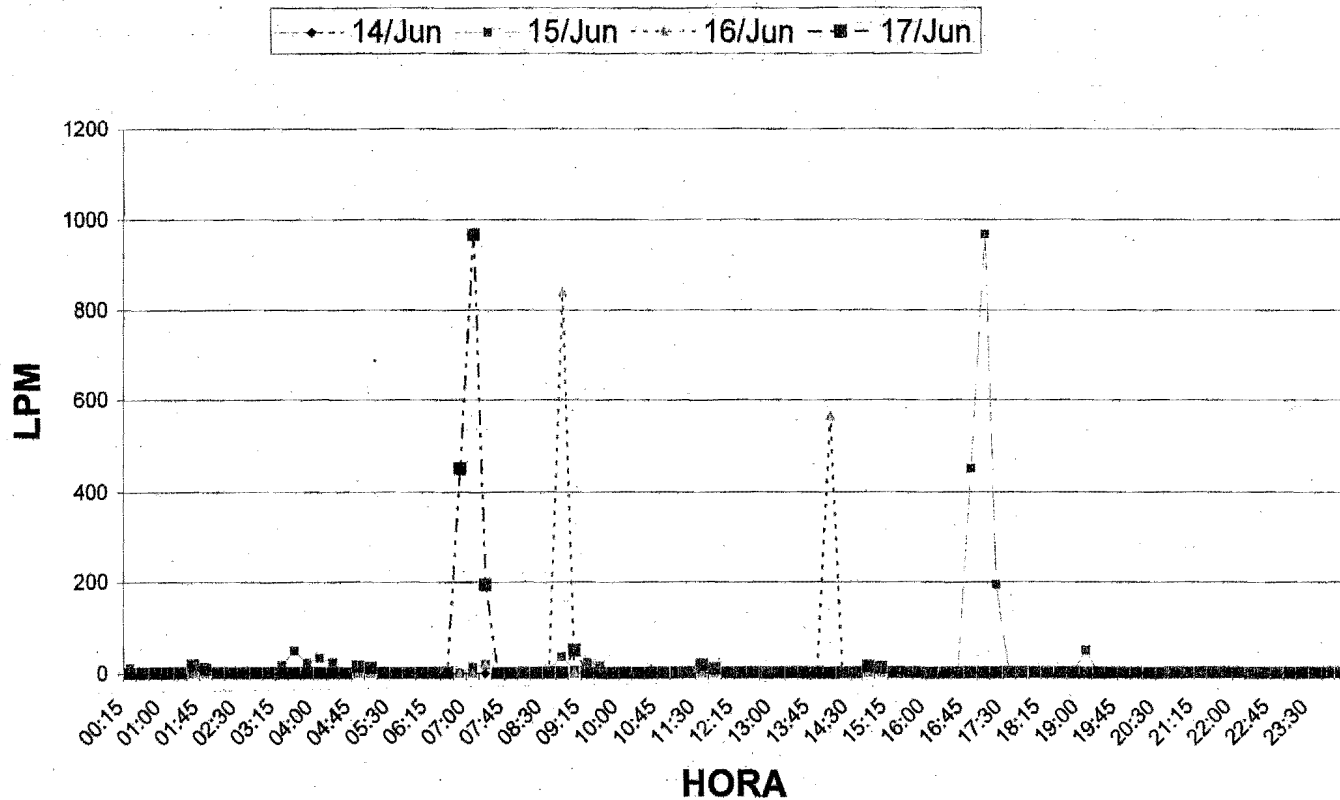
FOLIO		2297	EMBOTELLADORA
<b>DATOS MEDIDOR INSTALADO</b>			
LECTURAS MEDIDOR:	INICIAL	294.20	M <sup>3</sup>
	FINAL	298.23	M <sup>3</sup>
	NUM. SERIE MEDIDOR INSTALADO	DELAUNET	295135
	DIAMETRO DEL MEDIDOR INSTALADO	100	MM
<b>DATOS INSTRUMENTACION</b>			
	NUM. DE SERIE MEDIDOR AUDITOR	300455	
	NUM. DE SERIE LOGGER	700049	
	FECHA DE INSTALACIÓN	14/Jun	
	HORA DE INSTALACIÓN	16.00	
	FECHA DE DESINSTALACIÓN	17/Jun	
	HORA DE DESINSTALACIÓN	15.00	

**DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 02**

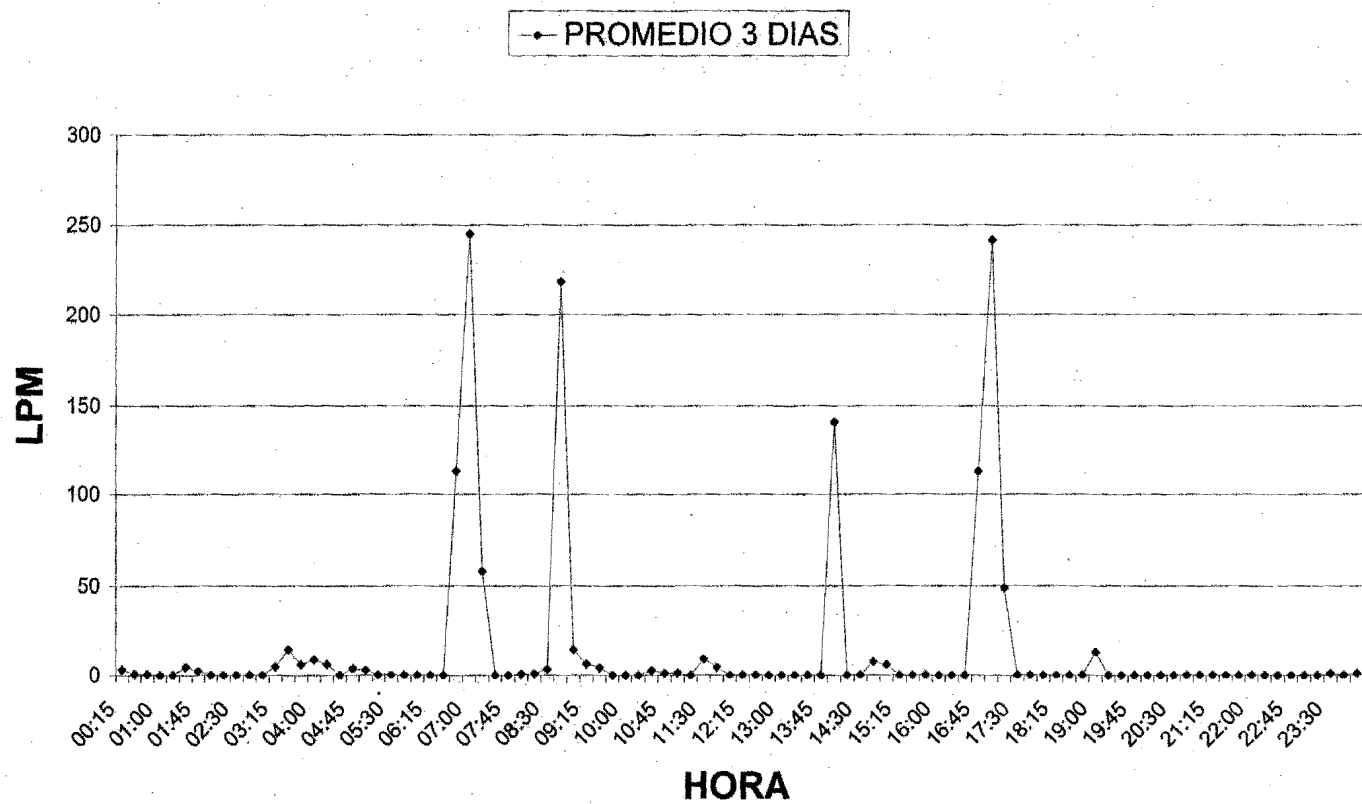
<b>DATOS TECNICOS DEL PATRON DE FLUJO:</b>			
	FLUJO MINIMO	0.00	LPM
	FLUJO MAXIMO	966.71	LPM
	FLUJO PROMEDIO	13.91	LPM
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		<b>75</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	9.46	LPM
	FLUJO MAXIMO	2,535.95	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,362.60	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	99.00%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		<b>100</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	22.71	LPM
	FLUJO MAXIMO	3,974.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,930.35	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	93.35%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		<b>150</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	45.42	LPM
	FLUJO MAXIMO	10,030.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	4,920.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	91.56%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		<b>200</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	94.63	LPM
	FLUJO MAXIMO	11,733.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	5,677.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	91.34%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		<b>250</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	170.33	LPM
	FLUJO MAXIMO	20,249.75	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	13,247.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	88.62%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		<b>300</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	170.33	LPM
	FLUJO MAXIMO	24,602.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	12,112.00	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	88.62%	%
<b>CONCLUSION</b>			
	MEDIDOR O.K. ?	NO	
	DIAMETRO ACTUAL	100	MM
	EXACTITUD ACTUAL	5.12%	%
	CONSUMO MEDIDO	78.66	M <sup>3</sup>
	CONSUMO REGISTRADO	4.03	M <sup>3</sup>
	MEDIDOR RECOMENDADO	TURBINA	
	DIAMETRO RECOMENDADO	75	MM
	EXACTITUD NUEVA	99.00%	%



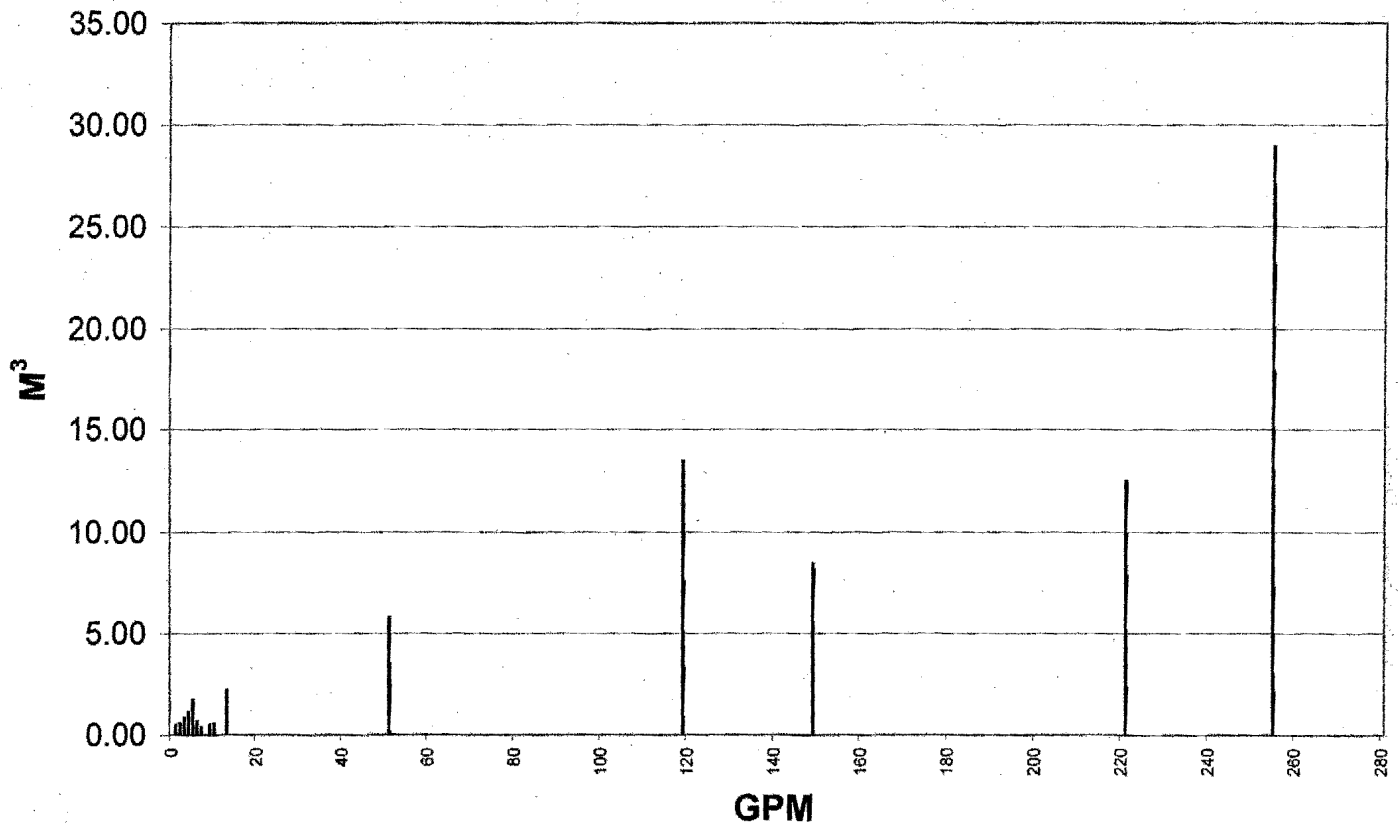
# PATRON DE FLUJO EN LPM, FOLIO 002297



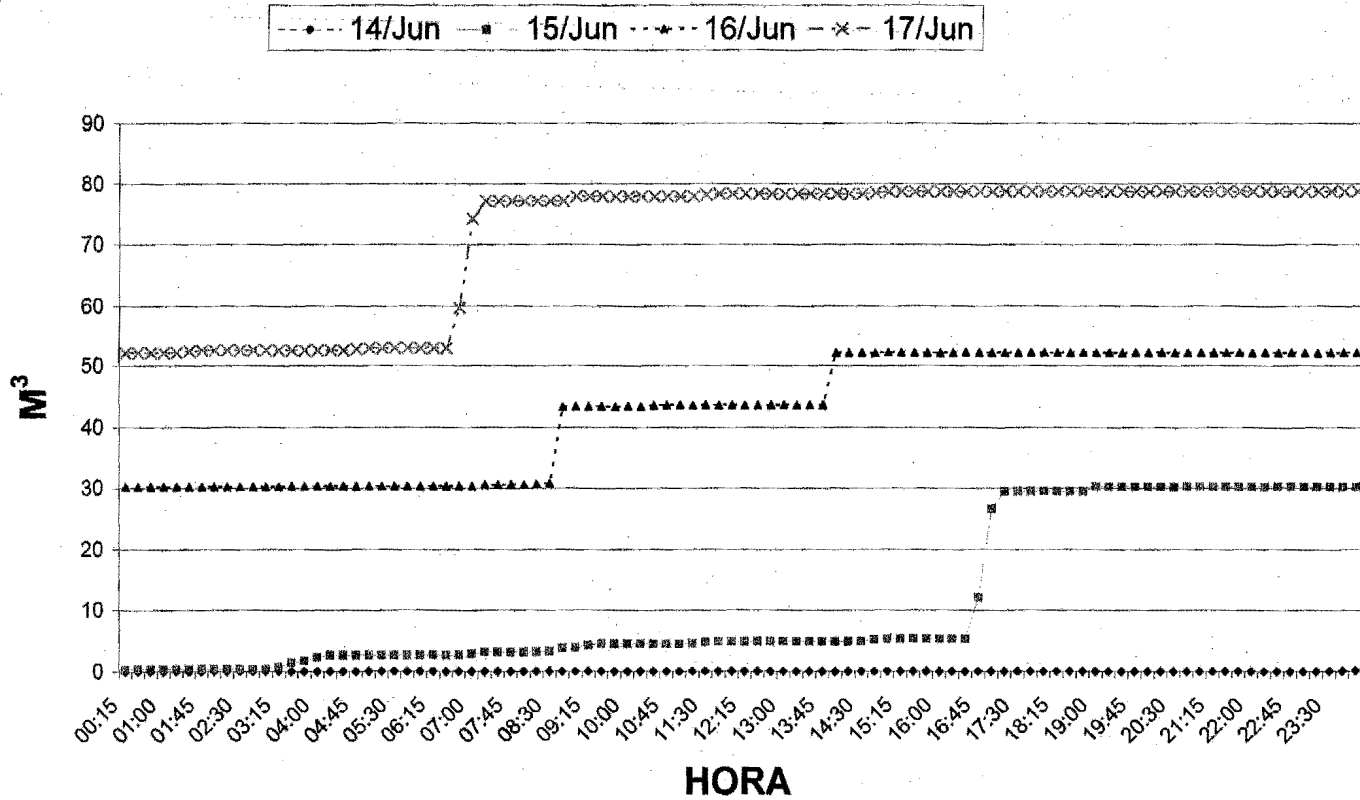
# PROMEDIO DE FLUJO EN LPM, FOLIO 002297



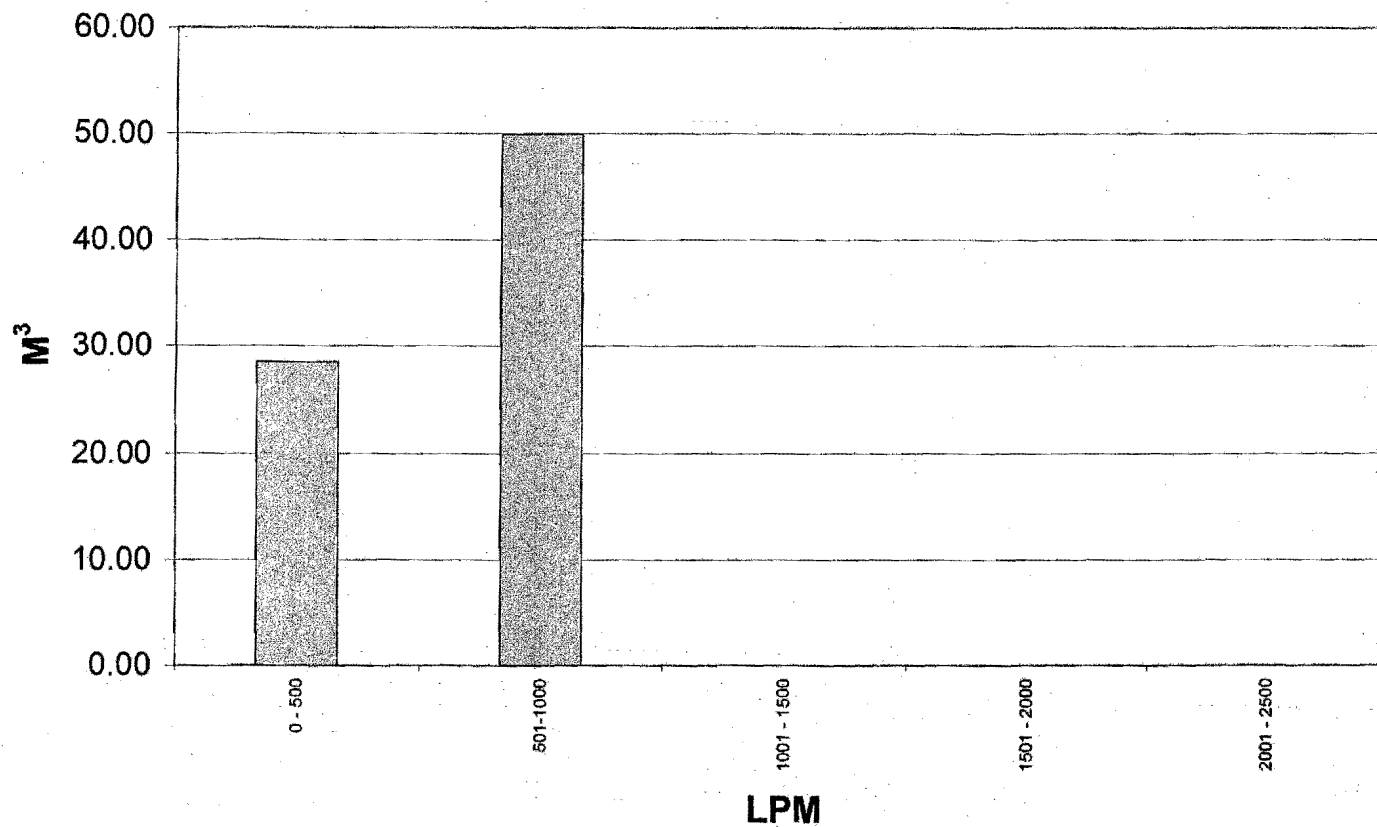
# VOLUMEN (M<sup>3</sup>) & CAUDAL (GPM) FOLIO 002297



# VOLUMEN ACUMULADO FOLIO 002297



# VOLUMEN (M<sup>3</sup>) & CAUDAL (LPM) FOLIO 002297



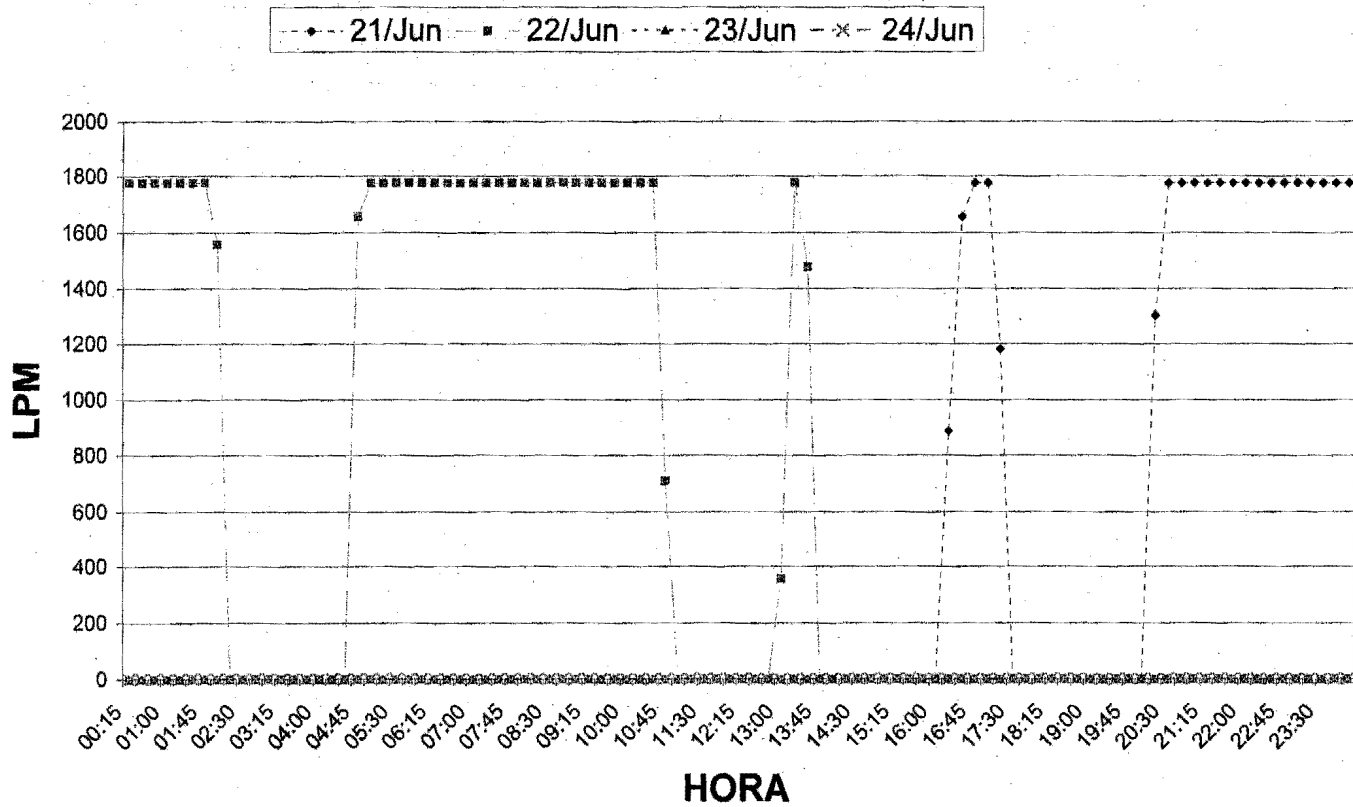
### DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 01

<b>FOLIO</b>		3951	<b>INDUSTRIAL</b>
<b>DATOS MEDIDOR INSTALADO</b>			
LECTURAS MEDIDOR:	INICIAL	2,576,957.50	M <sup>3</sup>
	FINAL	2,578,350.00	M <sup>3</sup>
	NUM. SERIE MEDIDOR INSTALADO	MEINECKE	2882254
	DIAMETRO DEL MEDIDOR INSTALADO	150	MM
<b>DATOS INSTRUMENTACION</b>			
	NUM. DE SERIE MEDIDOR AUDITOR	300446	
	NUM. DE SERIE LOGGER	700056	
	FECHA DE INSTALACIÓN	21/Jun	
	HORA DE INSTALACIÓN	16:25	
	FECHA DE DESINSTALACIÓN	24/Jun	
	HORA DE DESINSTALACIÓN	13:20	

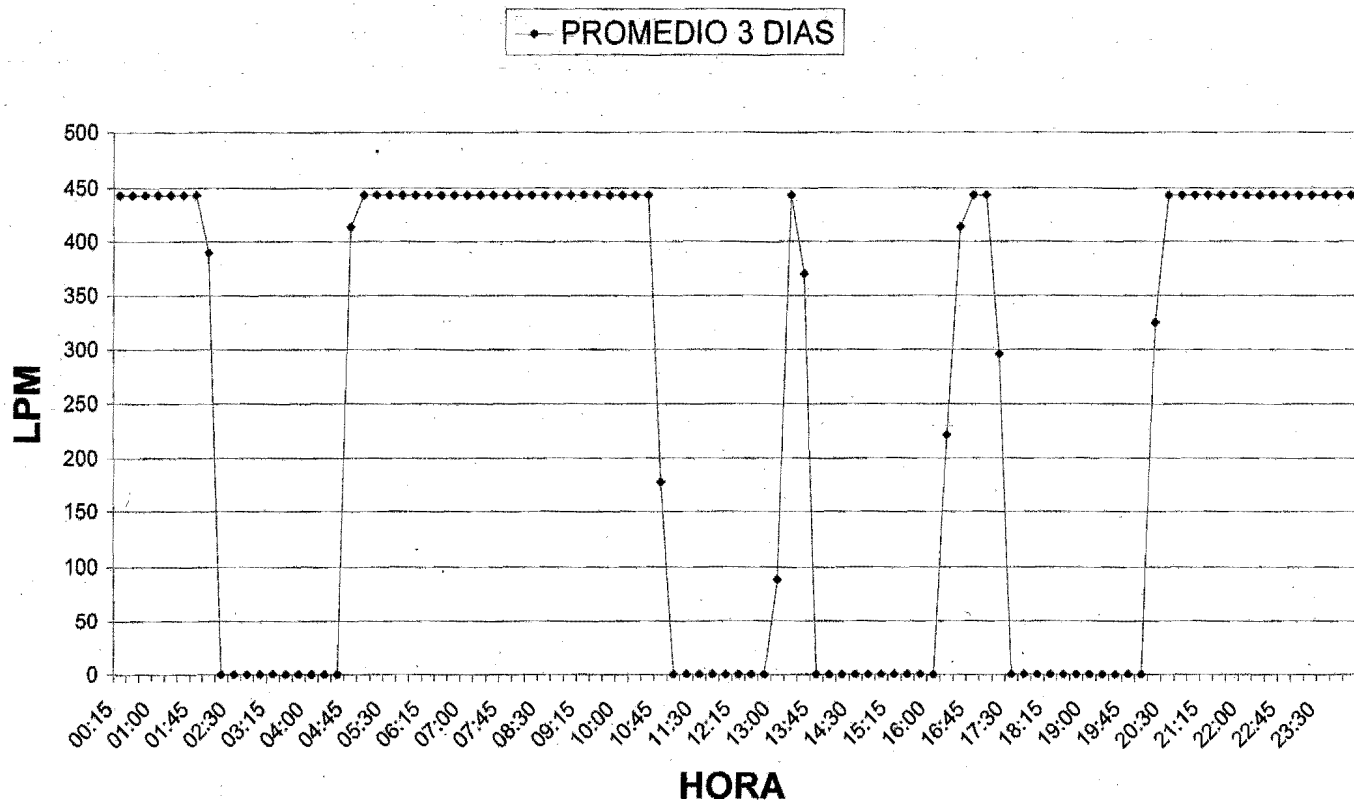
### DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 02

<b>DATOS TECNICOS DEL PATRON DE FLUJO:</b>			
	FLUJO MINIMO	0.00	LPM
	FLUJO MAXIMO	1,774.17	LPM
	FLUJO PROMEDIO	245.73	LPM
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>75</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	9.46	LPM
	FLUJO MAXIMO	2,535.95	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,362.60	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	99.30%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>100</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	22.71	LPM
	FLUJO MAXIMO	3,974.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,930.35	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	99.99%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>150</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	45.42	LPM
	FLUJO MAXIMO	10,030.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	4,920.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	100.38%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>200</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	94.63	LPM
	FLUJO MAXIMO	11,733.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	5,677.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	100.39%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>250</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	170.33	LPM
	FLUJO MAXIMO	20,249.75	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	13,247.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	99.75%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>300</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	170.33	LPM
	FLUJO MAXIMO	24,602.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	12,112.00	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	99.75%	%
<b>CONCLUSION</b>			
	MEDIDOR O.K. ?	SI	
	DIAMETRO ACTUAL	150	MM
	EXACTITUD ACTUAL	96.76%	%
	CONSUMO MEDIDO	1,439.17	M <sup>3</sup>
	CONSUMO REGISTRADO	1,392.50	M <sup>3</sup>
	MEDIDOR RECOMENDADO	TURBINA	
	DIAMETRO RECOMENDADO	150	MM
	EXACTITUD NUEVA	100.38%	%

# PATRON DE FLUJO EN LPM, FOLIO 003951

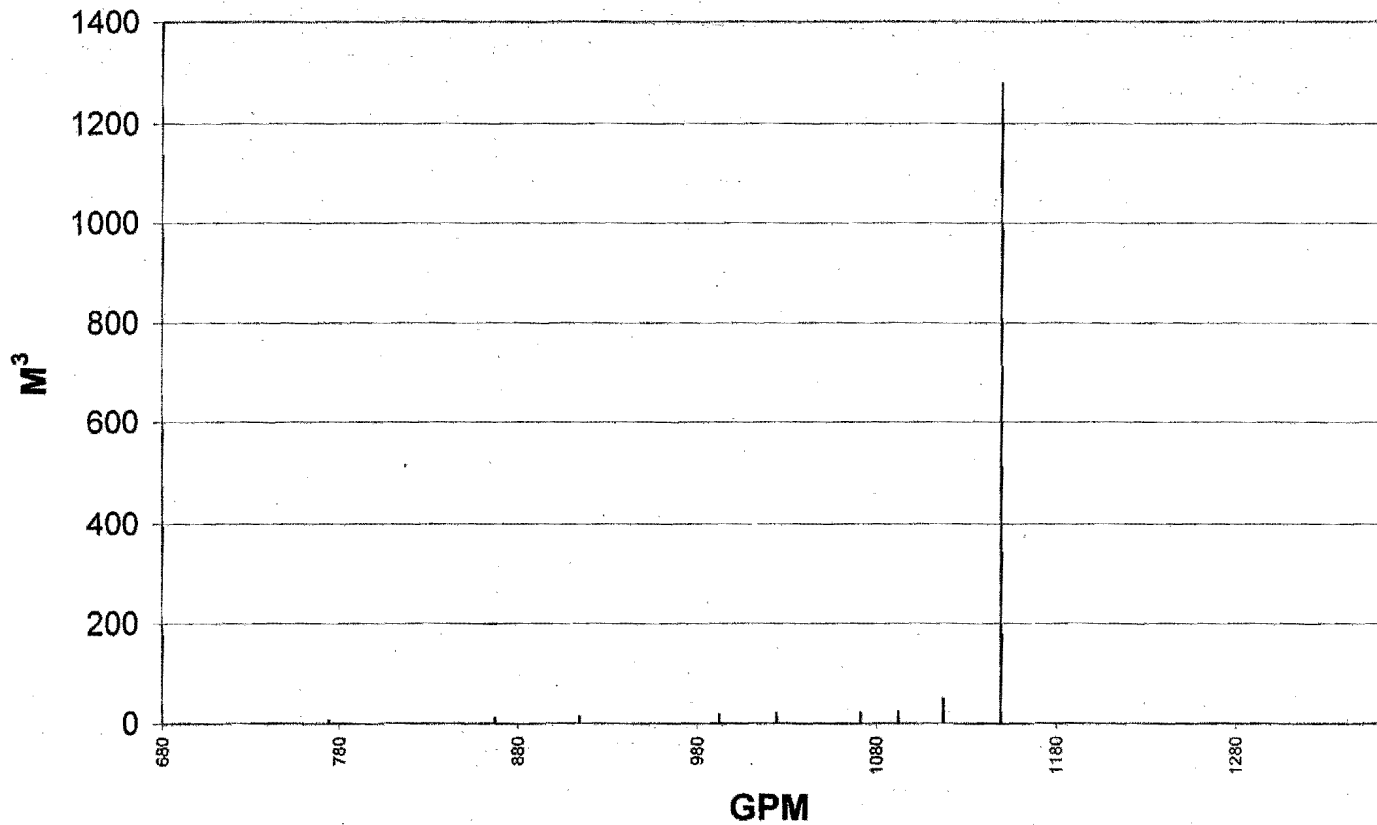


# PROMEDIO DE FLUJO EN LPM, FOLIO 003951



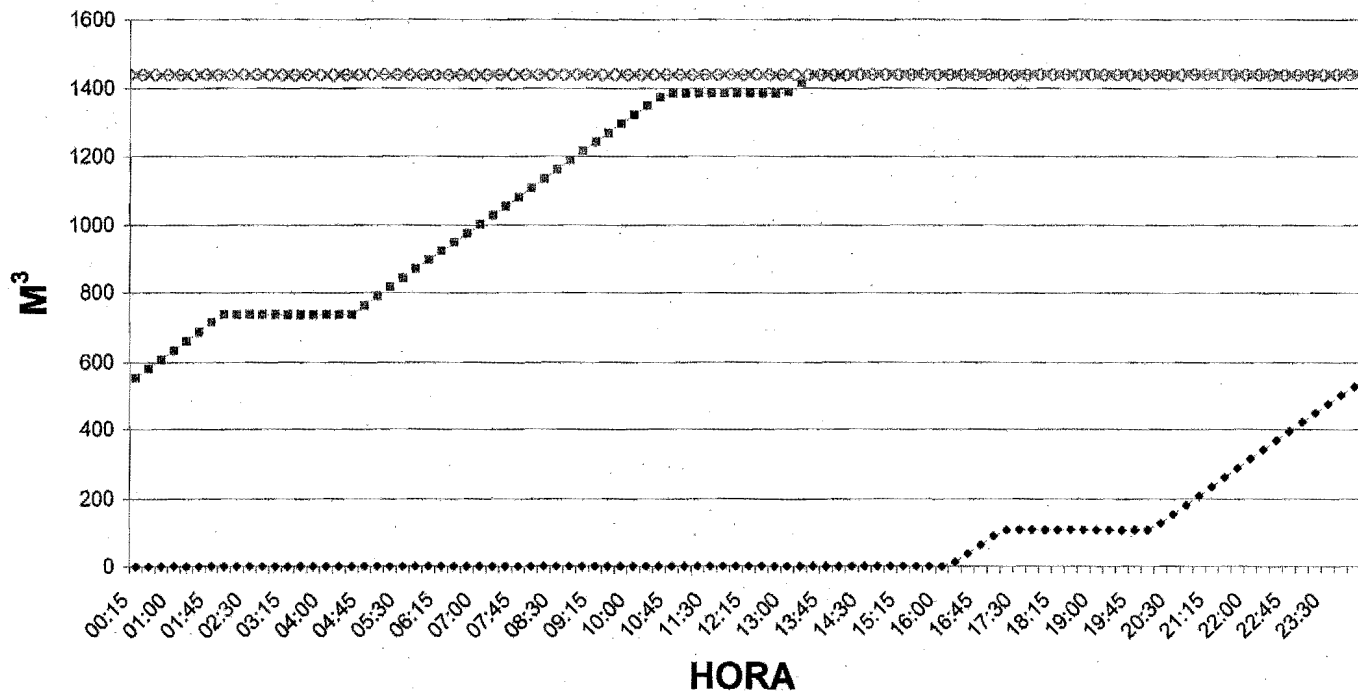


# VOLUMEN (M<sup>3</sup>) & CAUDAL (GPM) FOLIO 003951

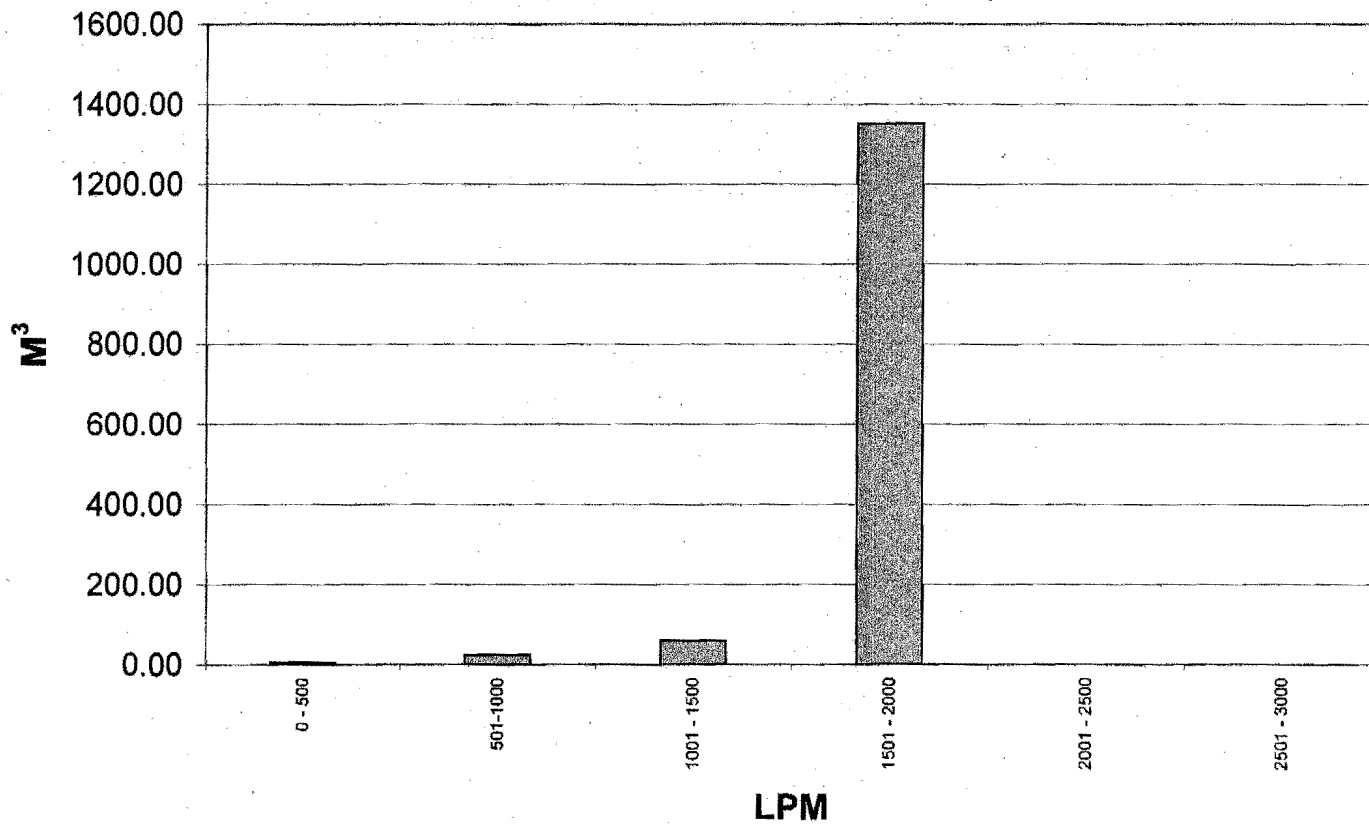


# VOLUMEN ACUMULADO FOLIO 003951

---♦--- 21/Jun    -■- 22/Jun    -x- 23/Jun    -\*- 24/Jun



# VOLUMEN (M<sup>3</sup>) & CAUDAL (LPM) FOLIO 003951



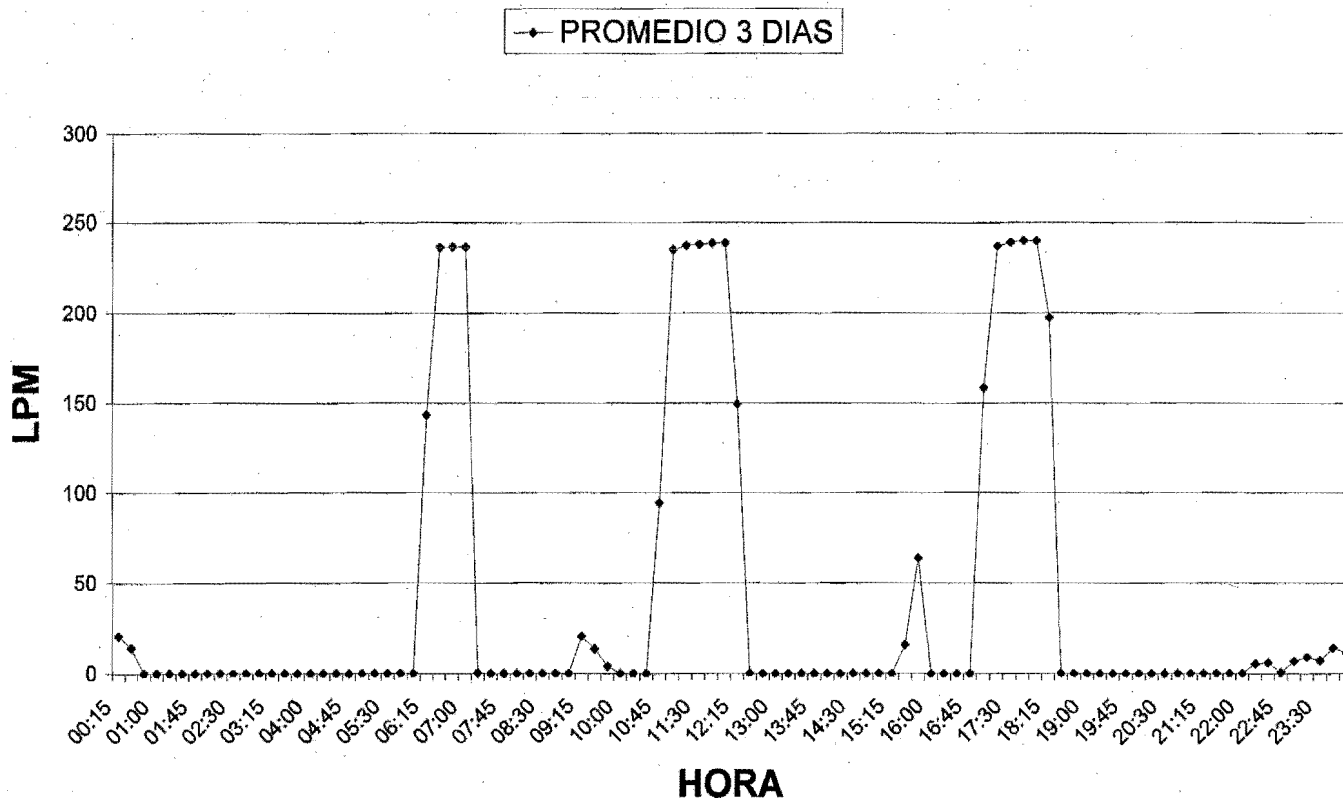
**DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 01**

<b>FOLIO</b>		4184	INDUSTRIA ALIMENTICIA
<b>DATOS MEDIDOR INSTALADO</b>			
LECTURAS MEDIDOR:	INICIAL	25,169.85	M <sup>3</sup>
	FINAL	25,347.30	M <sup>3</sup>
NUM. SERIE MEDIDOR INSTALADO		MICROMETER	99-5991-4
DIAMETRO DEL MEDIDOR INSTALADO		100	MM
<b>DATOS INSTRUMENTACION</b>			
NUM. DE SERIE MEDIDOR AUDITOR		300455	
NUM. DE SERIE LOGGER		700049	
FECHA DE INSTALACIÓN		19/Jun	
HORA DE INSTALACIÓN		15:38	
FECHA DE DESINSTALACIÓN		22/Jun	
HORA DE DESINSTALACIÓN		12:00	

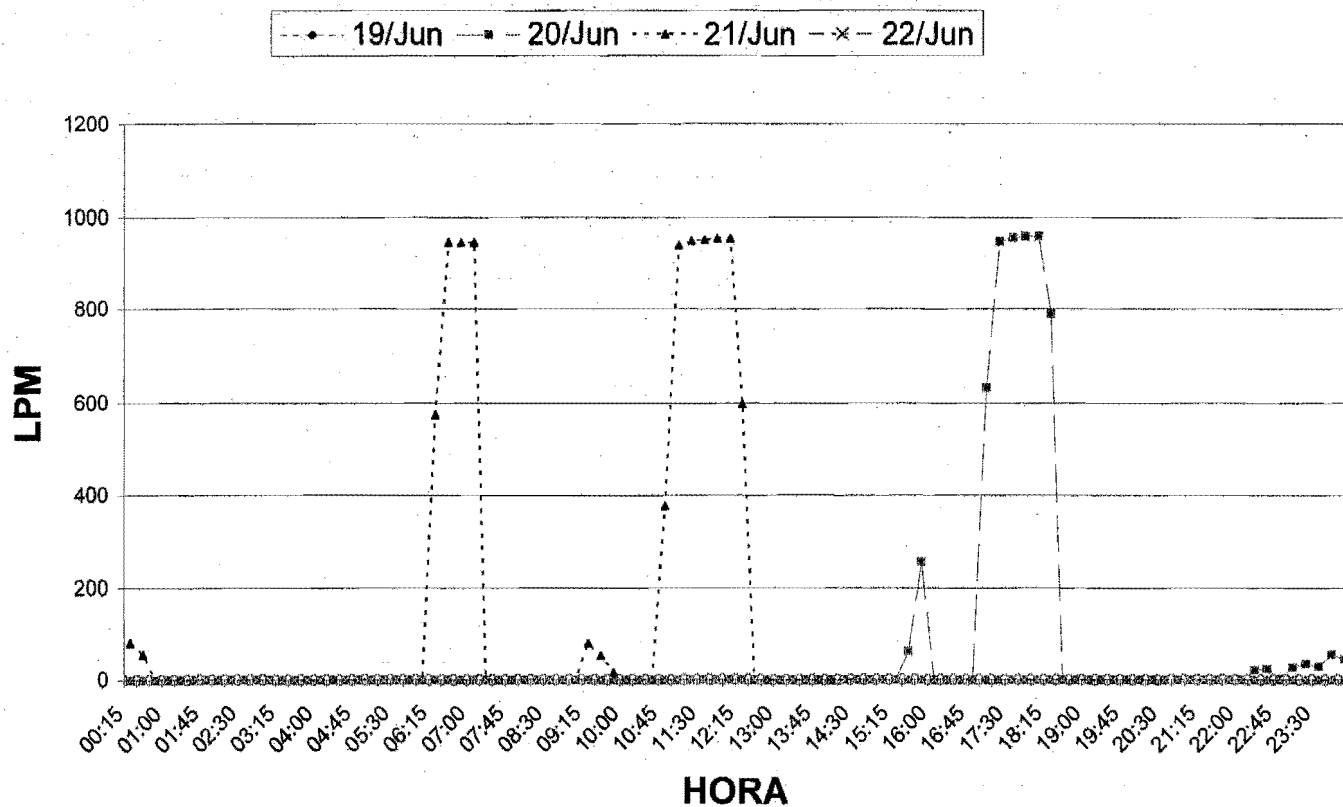
**DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 02**

<b>DATOS TECNICOS DEL PATRON DE FLUJO:</b>			
	FLUJO MINIMO	0.00	LPM
	FLUJO MAXIMO	960.54	LPM
	FLUJO PROMEDIO	40.18	LPM
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		75	MM
	FLUJO MINIMO	9.46	LPM
	FLUJO MAXIMO	2,535.95	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,362.60	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	99.30%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		100	MM
	FLUJO MINIMO	22.71	LPM
	FLUJO MAXIMO	3,974.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,930.36	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	99.50%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		150	MM
	FLUJO MINIMO	45.42	LPM
	FLUJO MAXIMO	10,030.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	4,920.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	99.07%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		200	MM
	FLUJO MINIMO	94.63	LPM
	FLUJO MAXIMO	11,733.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	5,677.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	98.95%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		250	MM
	FLUJO MINIMO	170.33	LPM
	FLUJO MAXIMO	20,249.75	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	13,247.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	96.45%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		300	MM
	FLUJO MINIMO	170.33	LPM
	FLUJO MAXIMO	24,602.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	12,112.00	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	96.45%	%
<b>CONCLUSION</b>			
	MEDIDOR O.K. ?	NO	
	DIAMETRO ACTUAL	100	MM
	EXACTITUD ACTUAL	77.59%	%
	CONSUMO MEDIDO	228.71	M <sup>3</sup>
	CONSUMO REGISTRADO	177.45	M <sup>3</sup>
	MEDIDOR RECOMENDADO	COMPUESTO	
	DIAMETRO RECOMENDADO	100	MM
	EXACTITUD NUEVA	99.50%	%

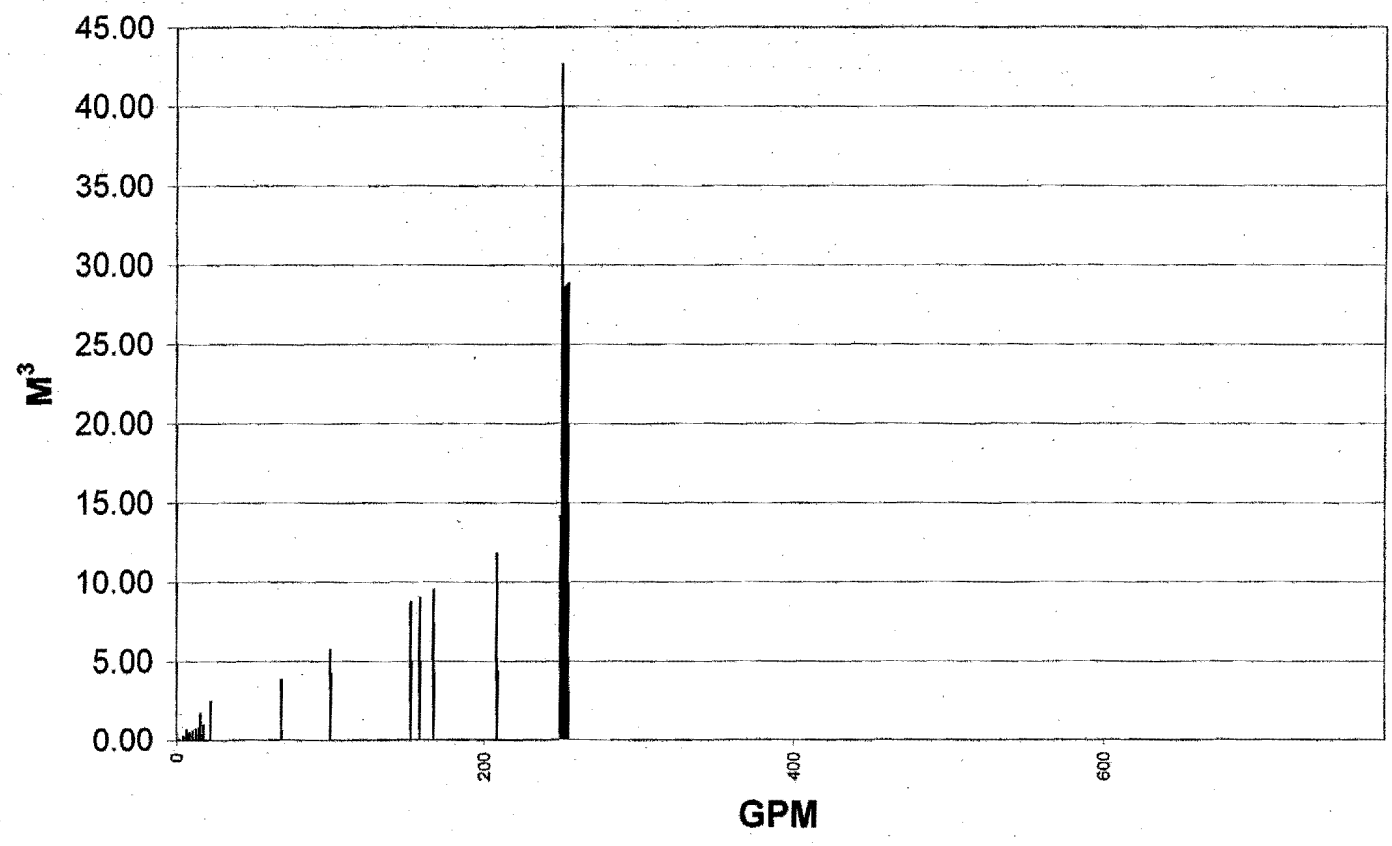
# PROMEDIO DE FLUJO EN LPM, FOLIO 004184



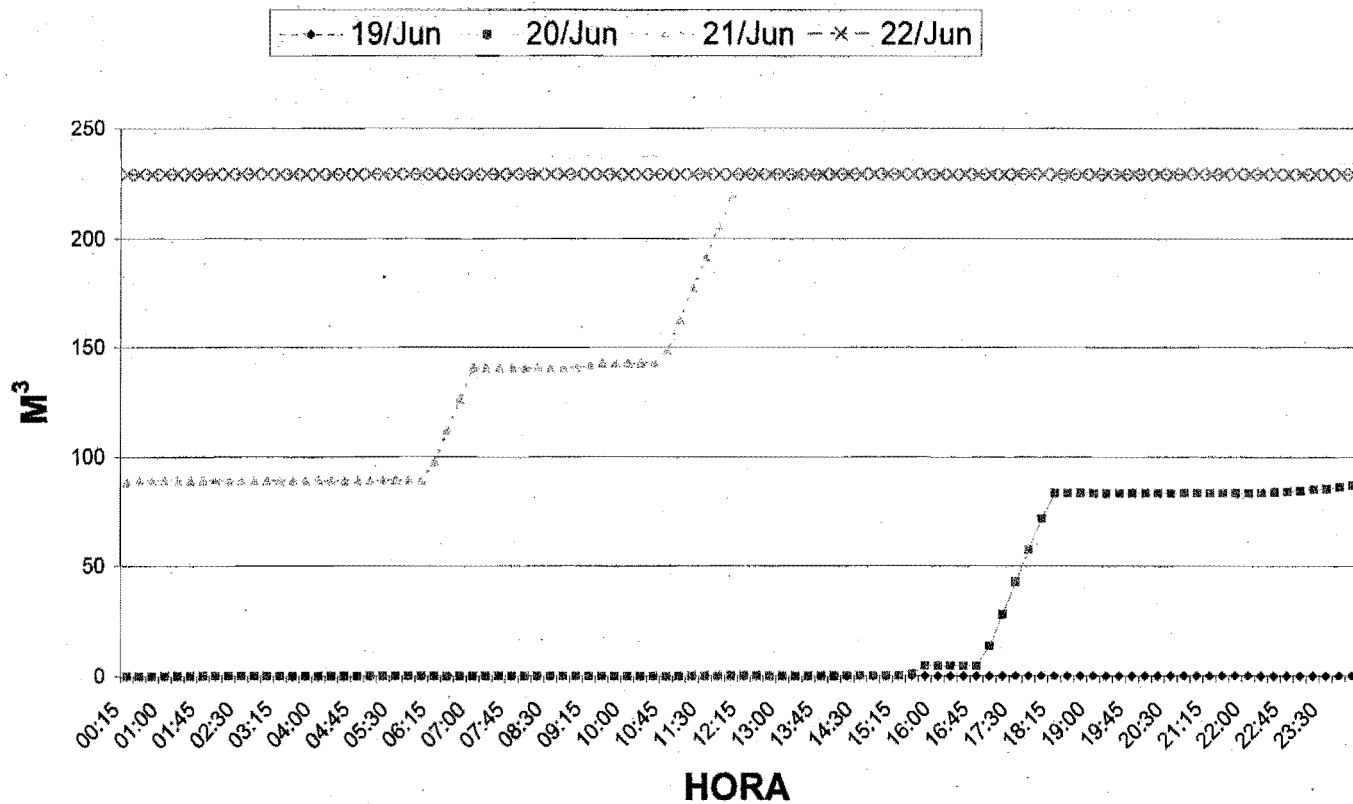
# PATRON DE FLUJO EN LPM, FOLIO 004184



# VOLUMEN (M<sup>3</sup>) & CAUDAL (GPM) FOLIO 004184

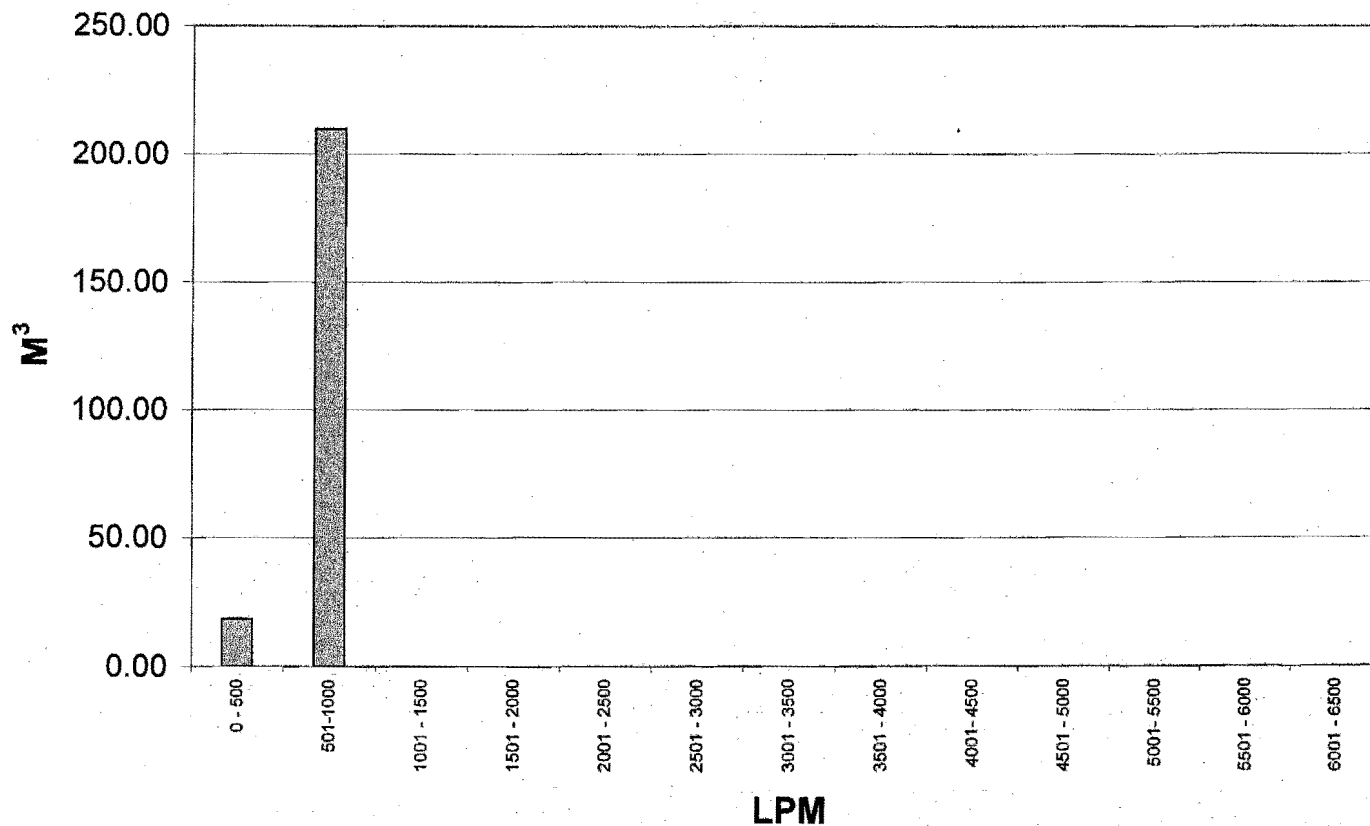


# VOLUMEN ACUMULADO FOLIO 004184





# VOLUMEN (M<sup>3</sup>) & CAUDAL (LPM) FOLIO 004184



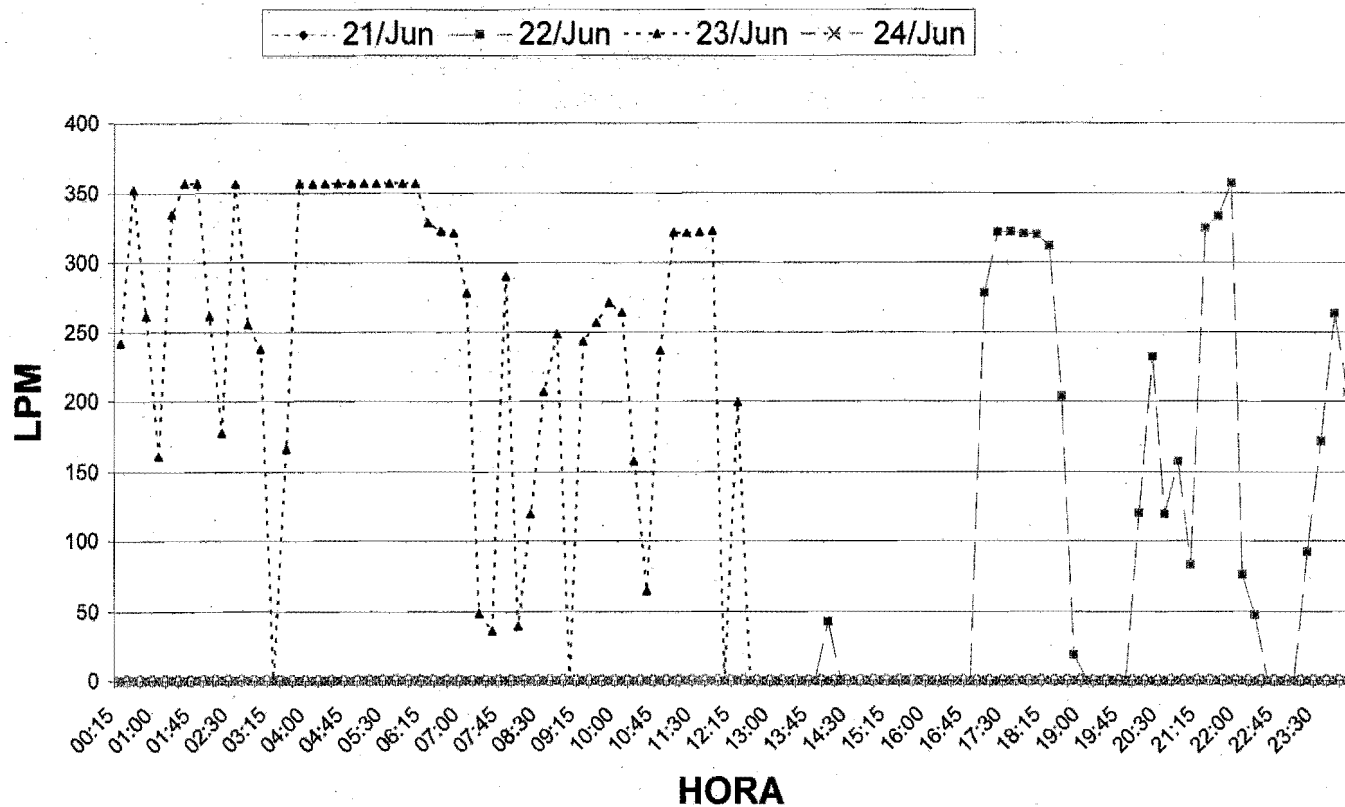
## DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 01

<b>FOLIO</b>		4185	INDUSTRIA ALIMENTICIA
<b>DATOS MEDIDOR INSTALADO</b>			
<b>LECTURAS MEDIDOR:</b>	INICIAL	25,224.00	M <sup>3</sup>
	FINAL	25,456.00	M <sup>3</sup>
	NUM. SERIE MEDIDOR INSTALADO	MCROMETEER	99-5990-4
	DIAMETRO DEL MEDIDOR INSTALADO	100	MM
<b>DATOS INSTRUMENTACION</b>			
	NUM. DE SERIE MEDIDOR AUDITOR	7000	
	NUM. DE SERIE LOGGER	7000	
	FECHA DE INSTALACIÓN	21/Jun	
	HORA DE INSTALACIÓN	13:30	
	FECHA DE DESINSTALACIÓN	24/Jun	
	HORA DE DESINSTALACIÓN	11:30	

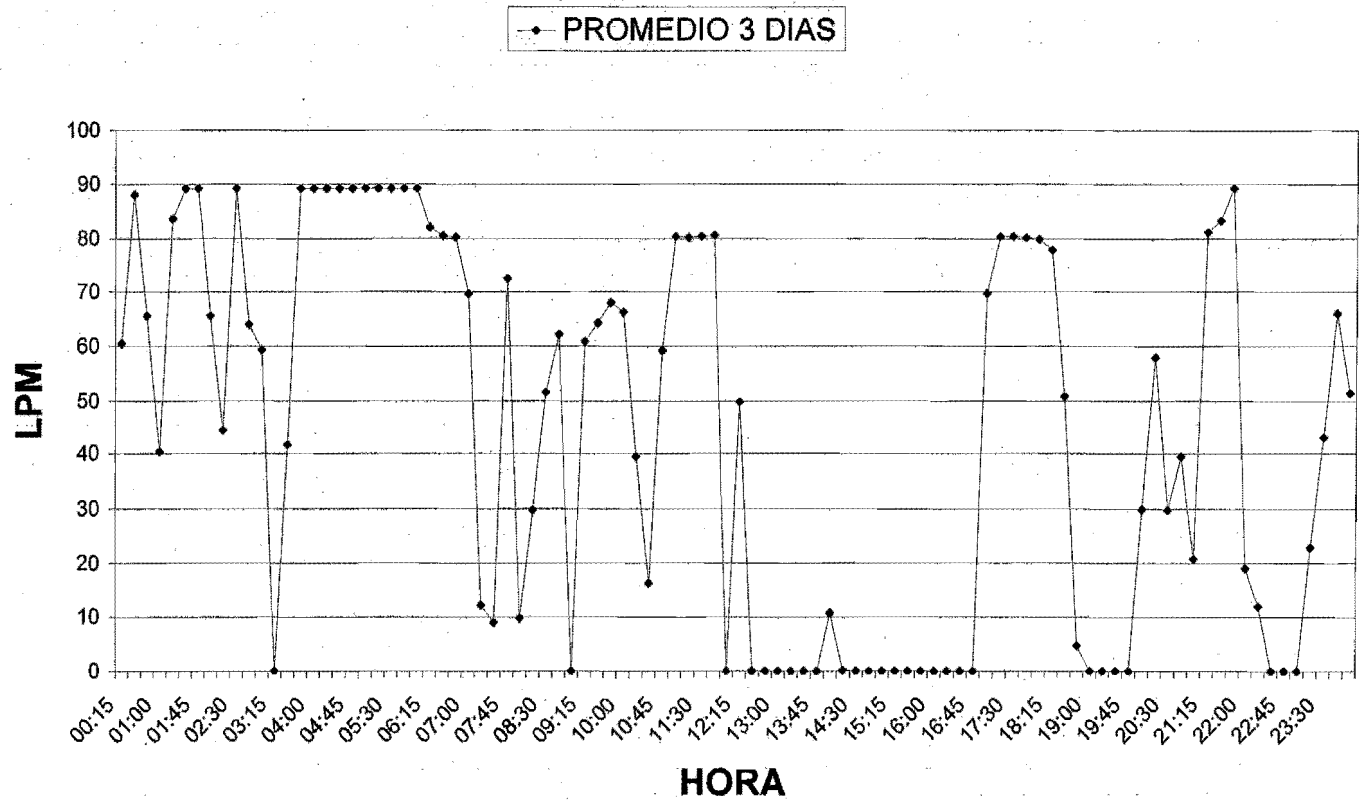
## DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 02

<b>DATOS TECNICOS DEL PATRON DE FLUJO:</b>			
	FLUJO MINIMO	0.00	LPM
	FLUJO MAXIMO	356.99	LPM
	FLUJO PROMEDIO	43.72	LPM
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		<b>75</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	9.46	LPM
	FLUJO MAXIMO	2,535.95	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,362.60	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	99.18%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		<b>100</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	22.71	LPM
	FLUJO MAXIMO	3,974.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,930.35	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	98.99%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		<b>150</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	45.42	LPM
	FLUJO MAXIMO	10,030.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	4,920.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	99.27%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		<b>200</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	94.63	LPM
	FLUJO MAXIMO	11,733.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	5,677.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	98.75%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		<b>250</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	170.33	LPM
	FLUJO MAXIMO	20,249.75	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	13,247.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	90.88%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>			
		<b>300</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	170.33	LPM
	FLUJO MAXIMO	24,602.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	12,112.00	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	90.88%	%
<b>CONCLUSION</b>			
	MEDIDOR O.K. ?	SI	
	DIAMETRO ACTUAL	100	MM
	EXACTITUD ACTUAL	90.80%	%
	CONSUMO MEDIDO	255.52	M <sup>3</sup>
	CONSUMO REGISTRADO	232.00	M <sup>3</sup>
	MEDIDOR RECOMENDADO	COMPUESTO	
	DIAMETRO RECOMENDADO	75	MM
	EXACTITUD NUEVA	99.18%	%

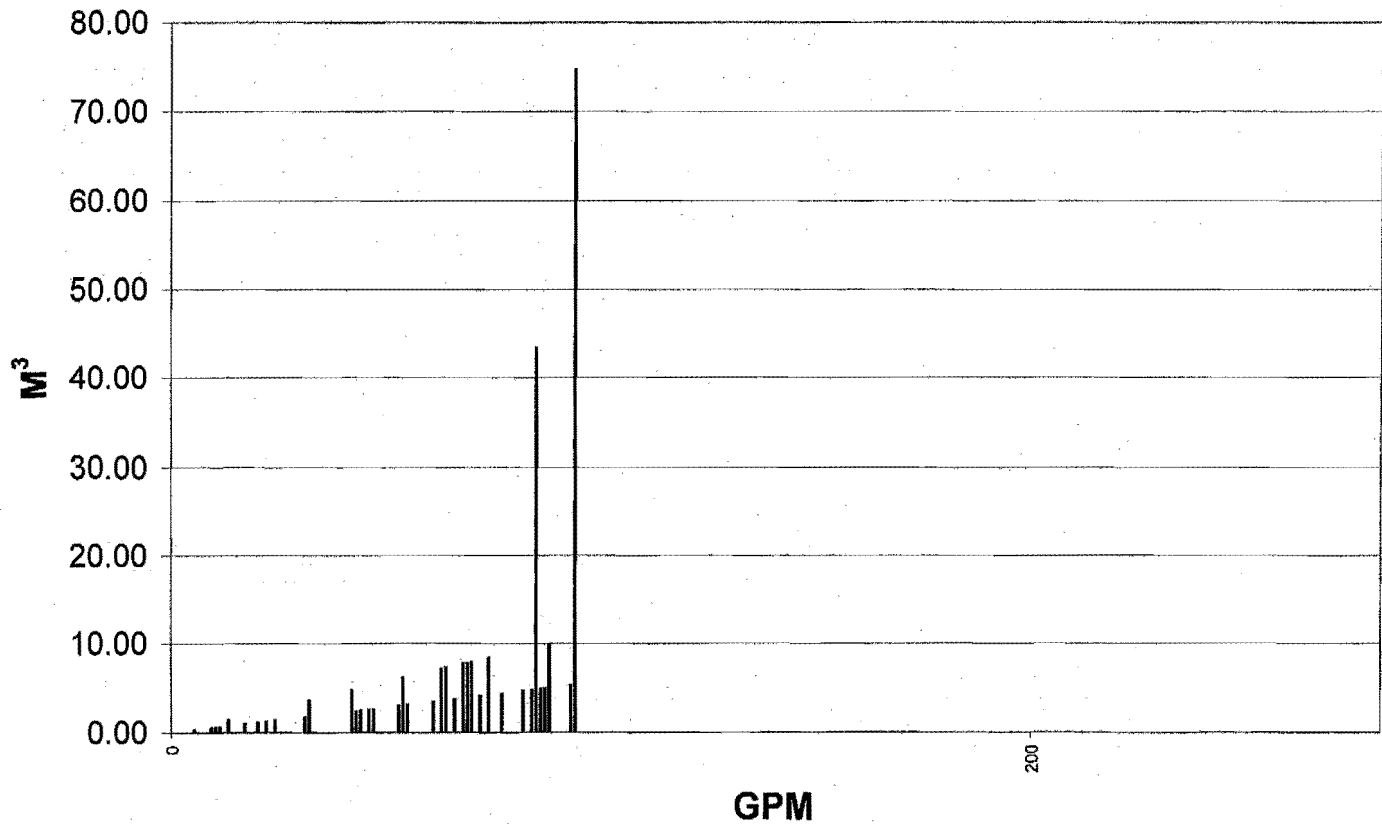
# PATRON DE FLUJO EN LPM, FOLIO 004185



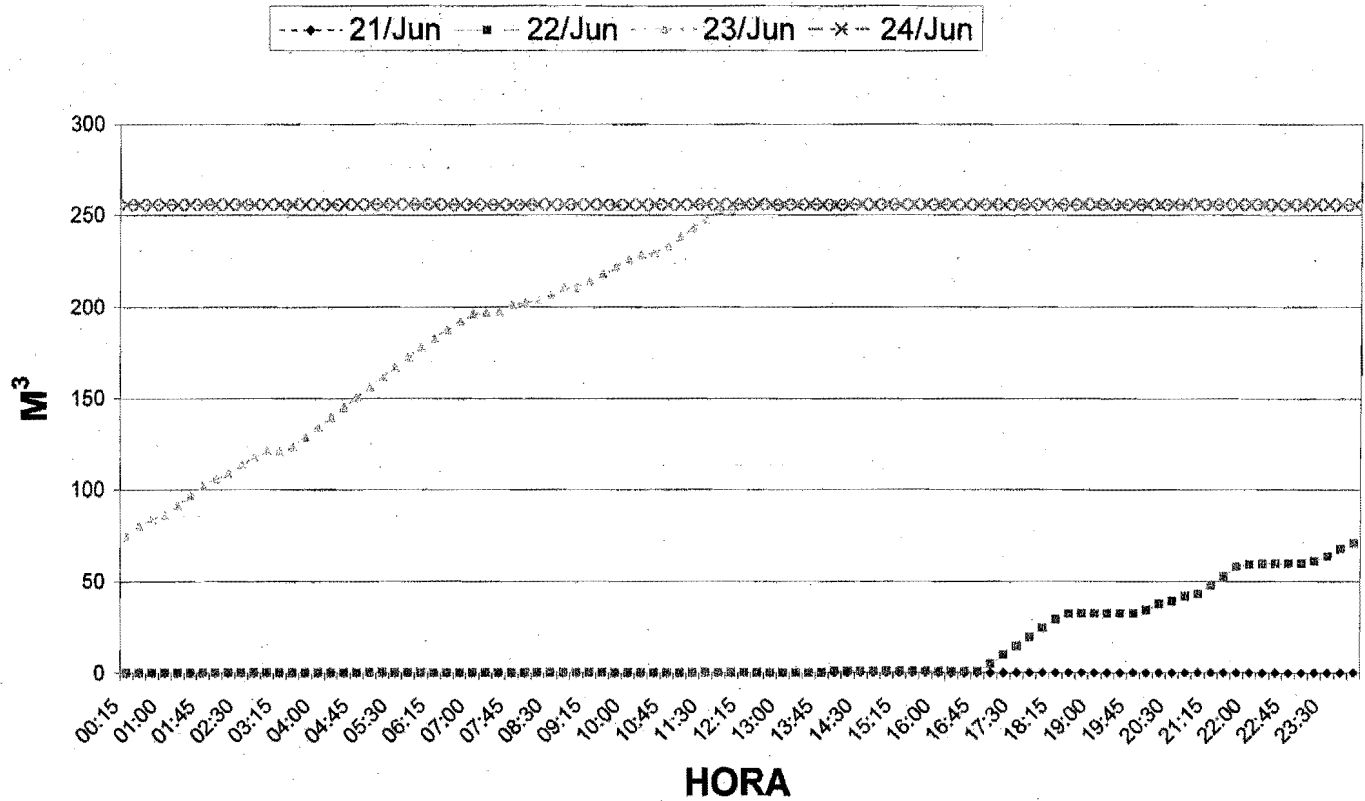
# PROMEDIO DE FLUJO EN LPM, FOLIO 004185



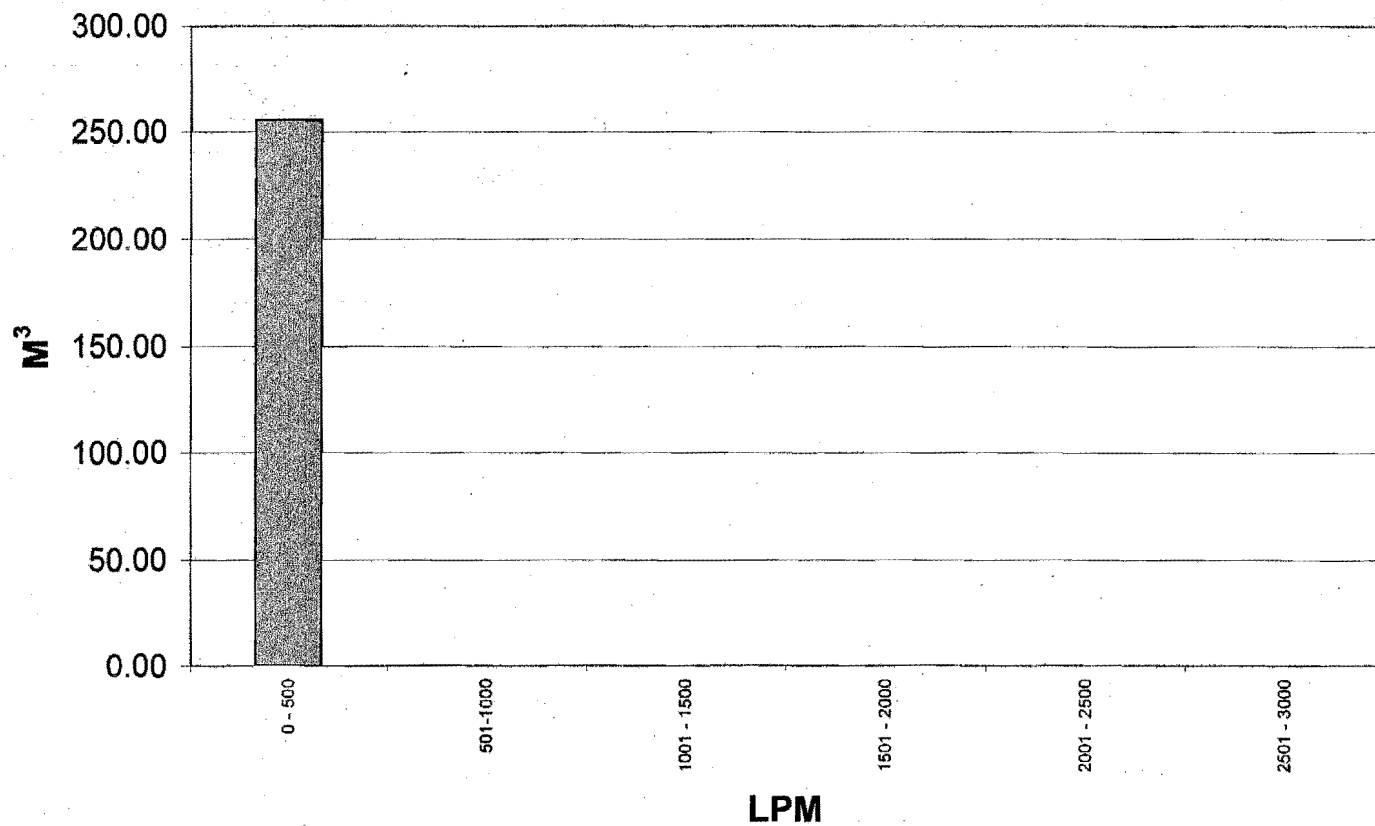
# VOLUMEN (M<sup>3</sup>) & CAUDAL (GPM) FOLIO 004185



# VOLUMEN ACUMULADO FOLIO 004185



# VOLUMEN (M<sup>3</sup>) & CAUDAL (LPM) FOLIO 004185



**DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 01**

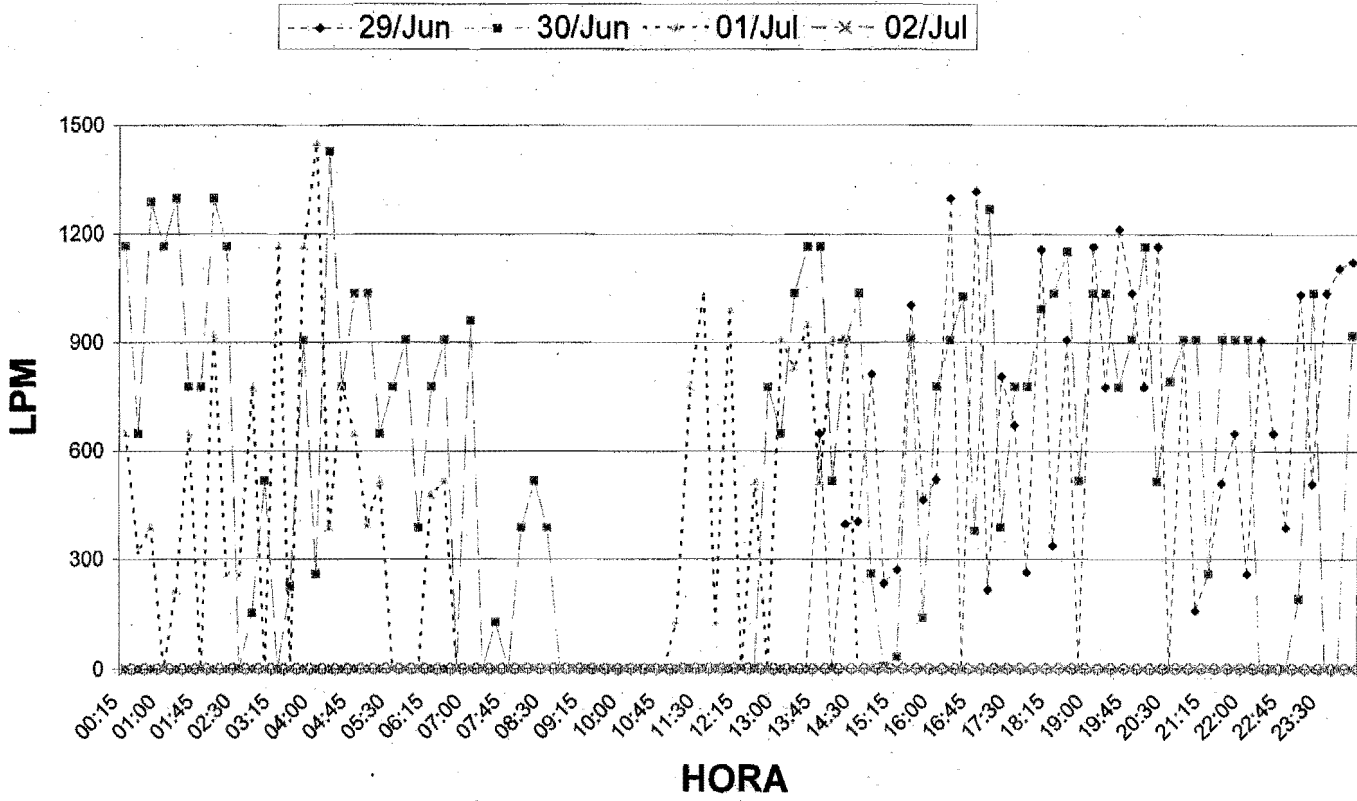
<b>FOLIO</b>		5756	INDUSTRIA ALIMENTICIA
<b>DATOS MEDIDOR INSTALADO</b>			
LECTURAS MEDIDOR:	INICIAL	42,966.00	M <sup>3</sup>
	FINAL	44,157.50	M <sup>3</sup>
NUM. SERIE MEDIDOR INSTALADO		SCHLUMBERGER	70030272
DIAMETRO DEL MEDIDOR INSTALADO		100	MM
<b>DATOS INSTRUMENTACION</b>			
NUM. DE SERIE MEDIDOR AUDITOR		7000	
NUM. DE SERIE LOGGER		7000	
FECHA DE INSTALACIÓN		29/Jun	
HORA DE INSTALACIÓN		13:45	
FECHA DE DESINSTALACIÓN		02/Jul	
HORA DE DESINSTALACIÓN		11:45	

**DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 02**

<b>DATOS TECNICOS DEL PATRON DE FLUJO:</b>			
	FLUJO MINIMO	0.00	LPM
	FLUJO MAXIMO	1448.40	LPM
	FLUJO PROMEDIO	264.99	LPM
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>75</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	9.46	LPM
	FLUJO MAXIMO	2,535.95	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,362.60	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	99.28%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>100</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	22.71	LPM
	FLUJO MAXIMO	3,974.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,930.35	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	99.65%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>150</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	45.42	LPM
	FLUJO MAXIMO	10,030.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	4,920.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	99.97%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>200</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	94.63	LPM
	FLUJO MAXIMO	11,733.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	5,677.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	100.05%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>250</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	170.33	LPM
	FLUJO MAXIMO	20,249.75	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	13,247.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	99.50%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>300</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	170.33	LPM
	FLUJO MAXIMO	24,602.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	12,112.00	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	99.50%	%
<b>CONCLUSION</b>			
	MEDIDOR O.K. ?	<b>NO</b>	
	DIAMETRO ACTUAL	100	MM
	EXACTITUD ACTUAL	77.55%	%
	CONSUMO MEDIDO	1,536.34	M <sup>3</sup>
	CONSUMO REGISTRADO	1,191.50	M <sup>3</sup>
	MEDIDOR RECOMENDADO	TURBINA	
	DIAMETRO RECOMENDADO	100	MM
	EXACTITUD NUEVA	99.65%	%

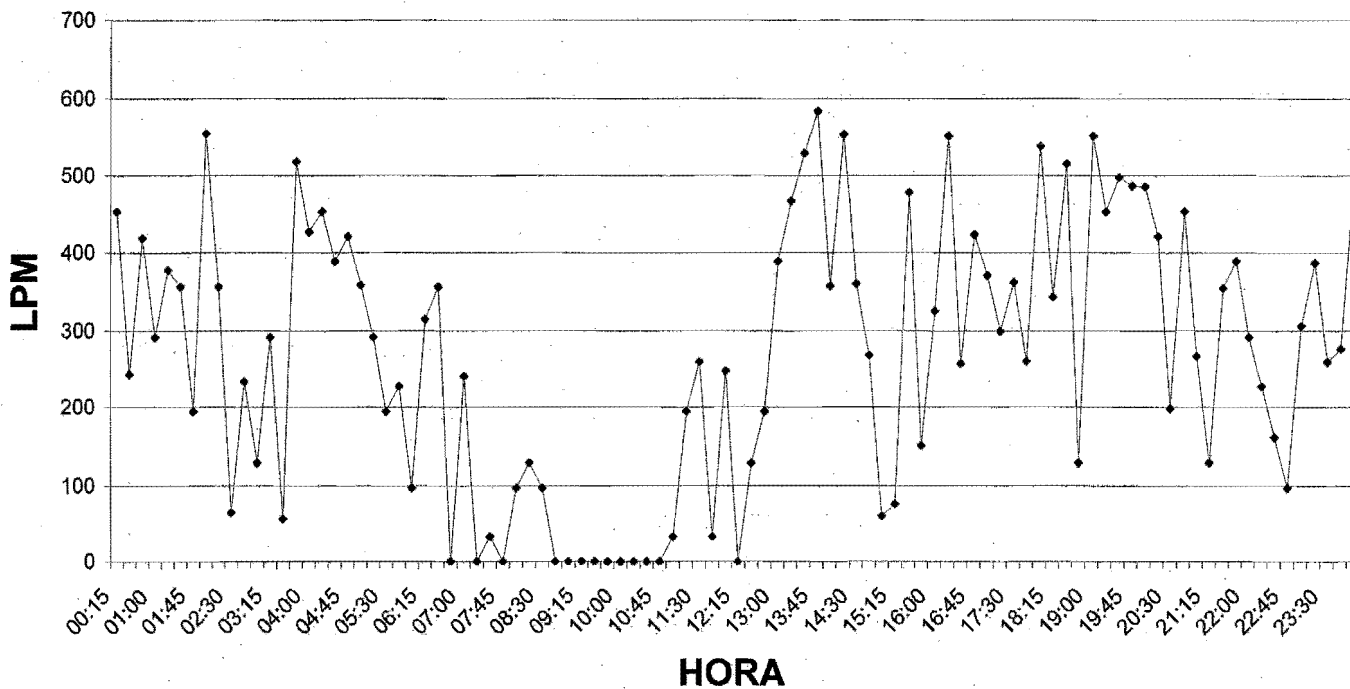


# PATRON DE FLUJO EN LPM, FOLIO 005756

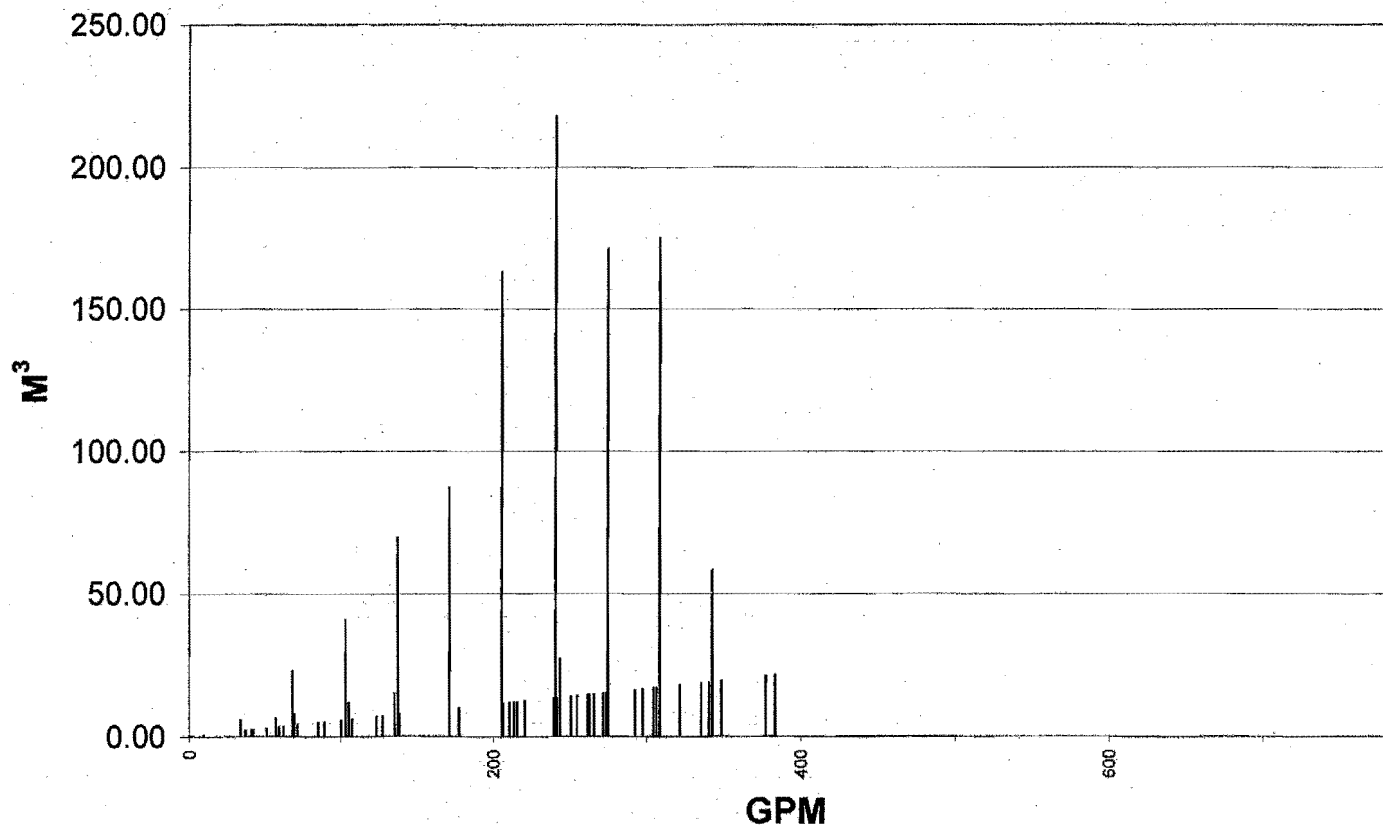


# PROMEDIO DE FLUJO EN LPM, FOLIO 005756

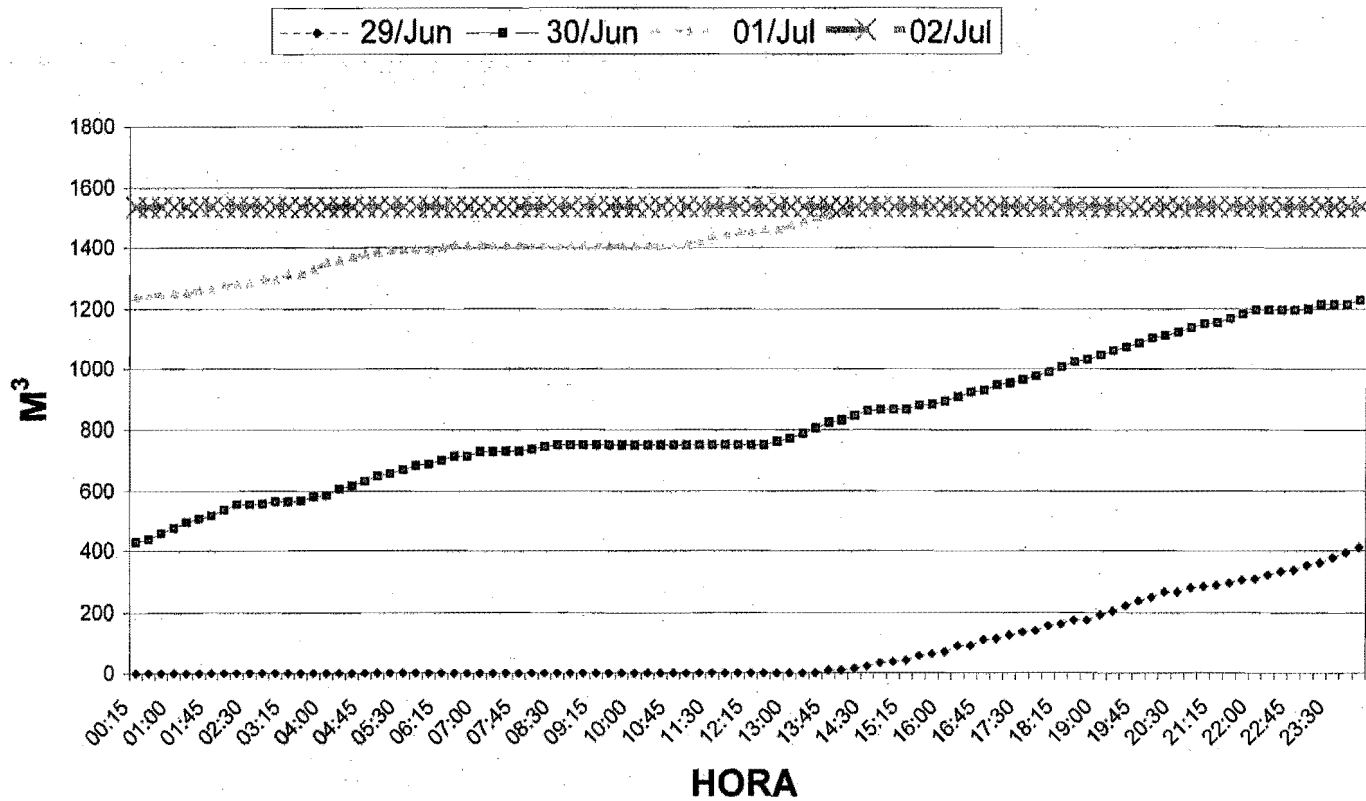
—●— PROMEDIO 3 DIAS

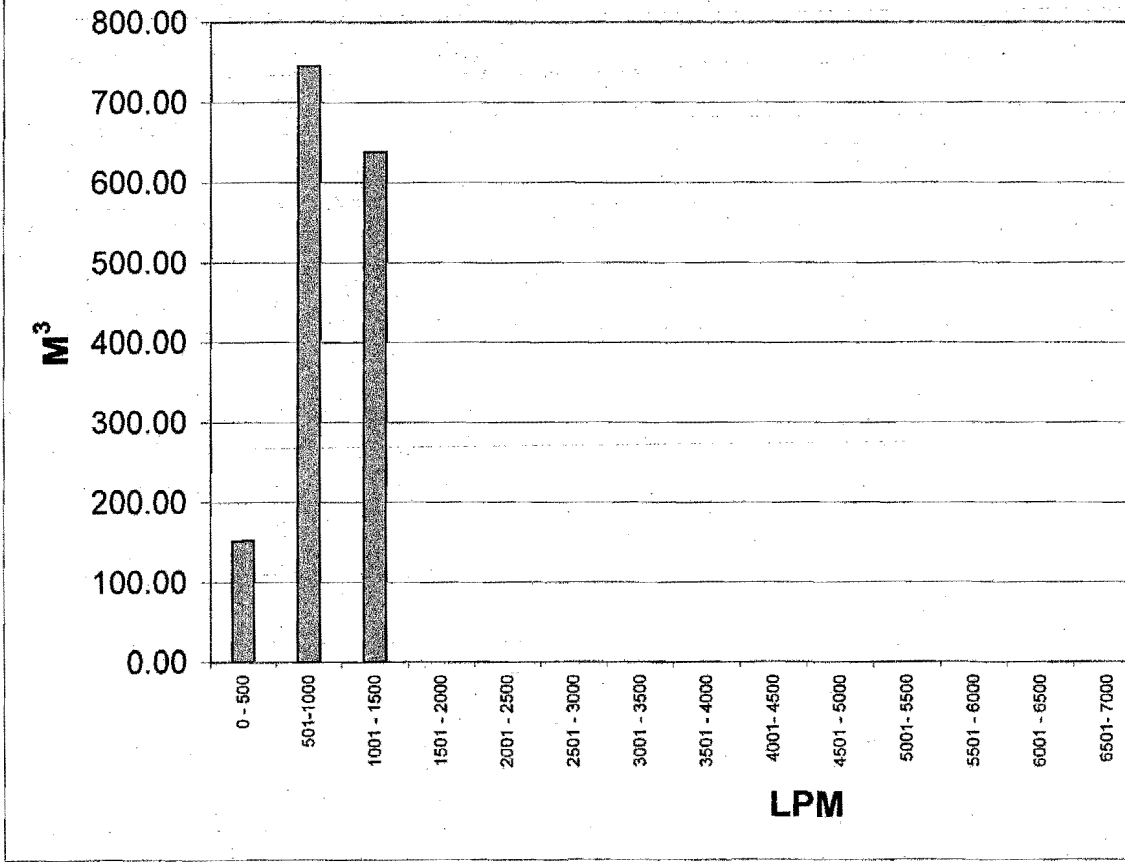


# VOLUMEN (M<sup>3</sup>) & CAUDAL (GPM) FOLIO 005756



# VOLUMEN ACUMULADO FOLIO 005756





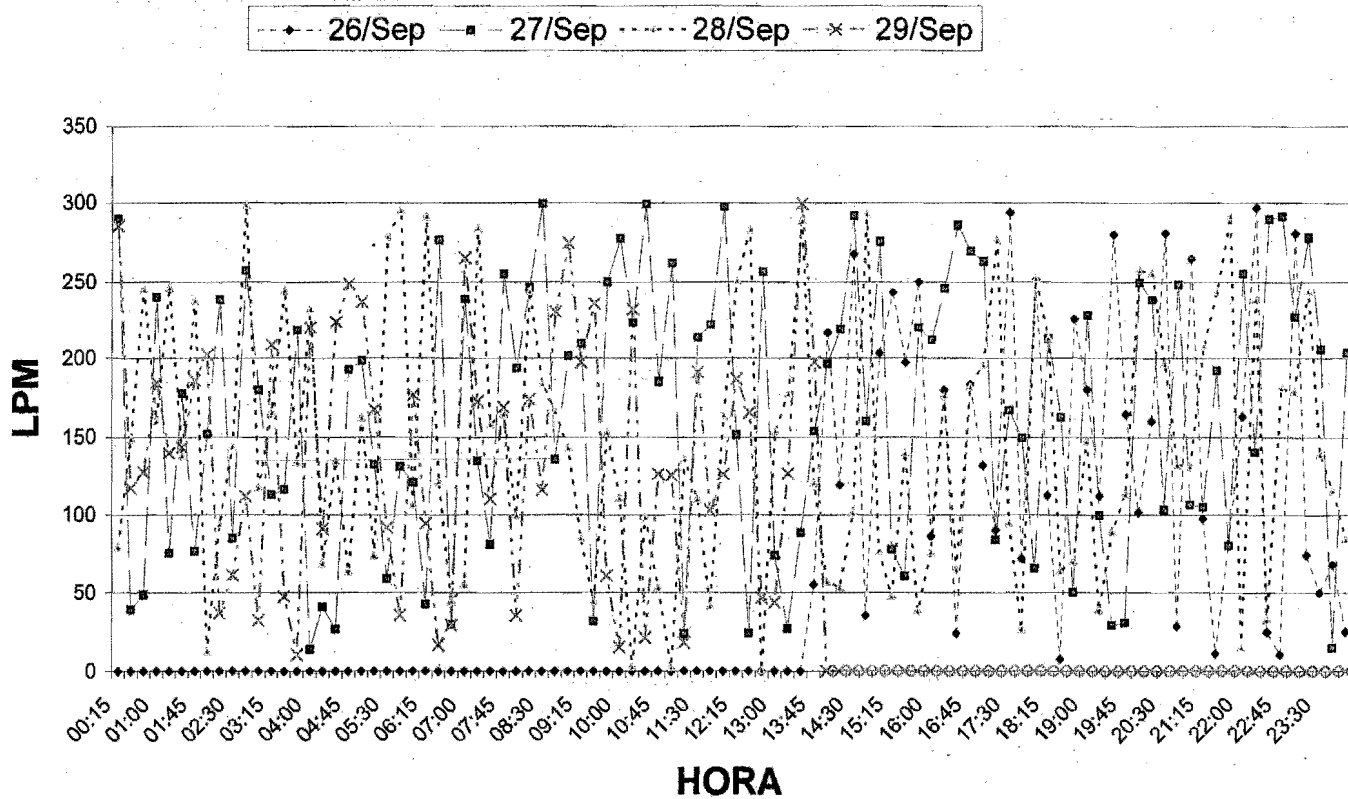
**DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 01**

<b>FOLIO</b>		6222	EDIFICIOS COMERCIALES
<b>DATOS MEDIDOR INSTALADO</b>			
LECTURAS MEDIDOR:	INICIAL	46,489.18	M <sup>3</sup>
	FINAL	47,123.07	M <sup>3</sup>
	NUM. SERIE MEDIDOR INSTALADO	BADGER METER	19913657
	DIAMETRO DEL MEDIDOR INSTALADO	75	MM
<b>DATOS INSTRUMENTACION</b>			
	NUM. DE SERIE MEDIDOR AUDITOR	300447	
	NUM. DE SERIE LOGGER	700060	
	FECHA DE INSTALACIÓN	26/Sep	
	HORA DE INSTALACIÓN	12:58	
	FECHA DE DESINSTALACIÓN	29/Sep	
	HORA DE DESINSTALACIÓN	13:25	

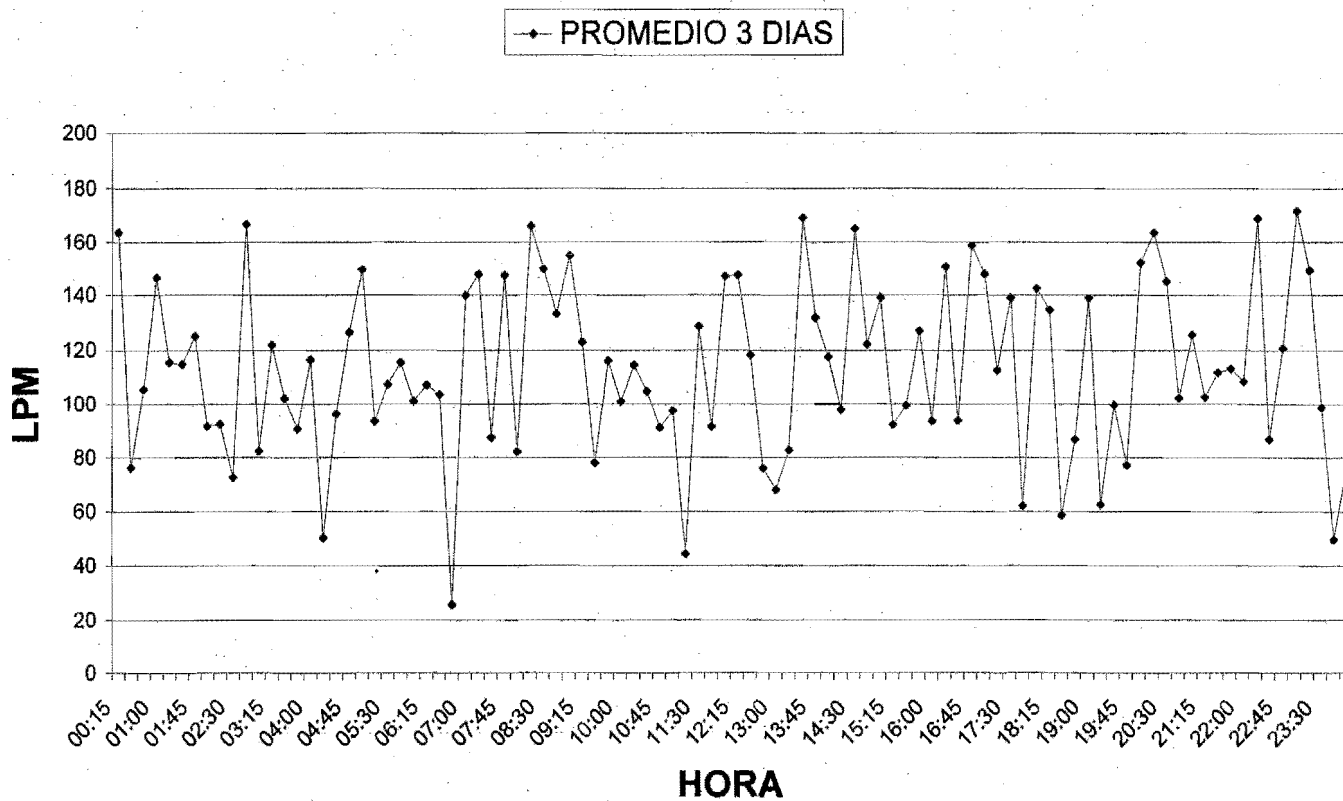
**DATOS PARA FORMATO DE INSTRUMENTACIÓN 02**

<b>DATOS TECNICOS DEL PATRON DE FLUJO:</b>			
	FLUJO MINIMO	0.00	LPM
	FLUJO MAXIMO	299.52	LPM
	FLUJO PROMEDIO	113.05	LPM
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>75</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	9.46	LPM
	FLUJO MAXIMO	2,535.95	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,362.60	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	99.09%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>100</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	22.71	LPM
	FLUJO MAXIMO	3,974.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	1,930.35	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	98.74%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>150</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	45.42	LPM
	FLUJO MAXIMO	10,030.25	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	4,920.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	97.66%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>200</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	94.63	LPM
	FLUJO MAXIMO	11,733.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	5,677.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	96.64%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>250</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	170.33	LPM
	FLUJO MAXIMO	20,249.75	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	13,247.50	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	66.21%	%
<b>DATOS TECNICOS DEL MEDIDOR BADGER DE DIAMETRO</b>		<b>300</b>	<b>MM</b>
	FLUJO MINIMO	170.33	LPM
	FLUJO MAXIMO	24,602.50	LPM
	FLUJO PROMEDIO MAXIMO	12,112.00	LPM
	EXACTITUD OBTENIDA	66.21%	%
<b>CONCLUSION</b>			
	MEDIDOR O.K. ?	SI	
	DIAMETRO ACTUAL	75	MM
	EXACTITUD ACTUAL	100.29%	%
	CONSUMO MEDIDO	652.00	M <sup>3</sup>
	CONSUMO REGISTRADO	653.89	M <sup>3</sup>
	MEDIDOR RECOMENDADO	TURBINA	
	DIAMETRO RECOMENDADO	75	MM
	EXACTITUD NUEVA	99.09%	%

# PATRON DE FLUJO EN LPM, FOLIO 006222

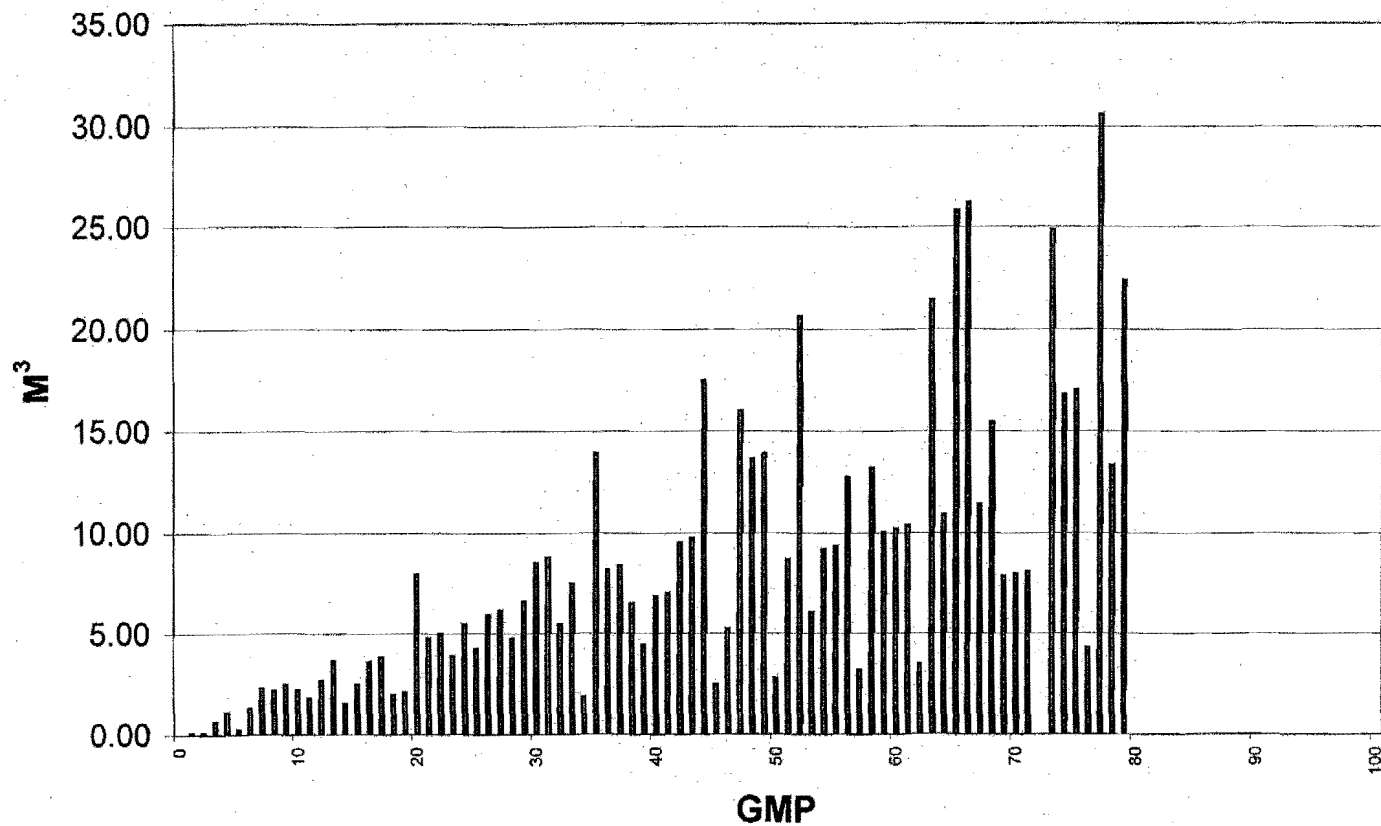


# PROMEDIO DE FLUJO EN LPM, FOLIO 006222



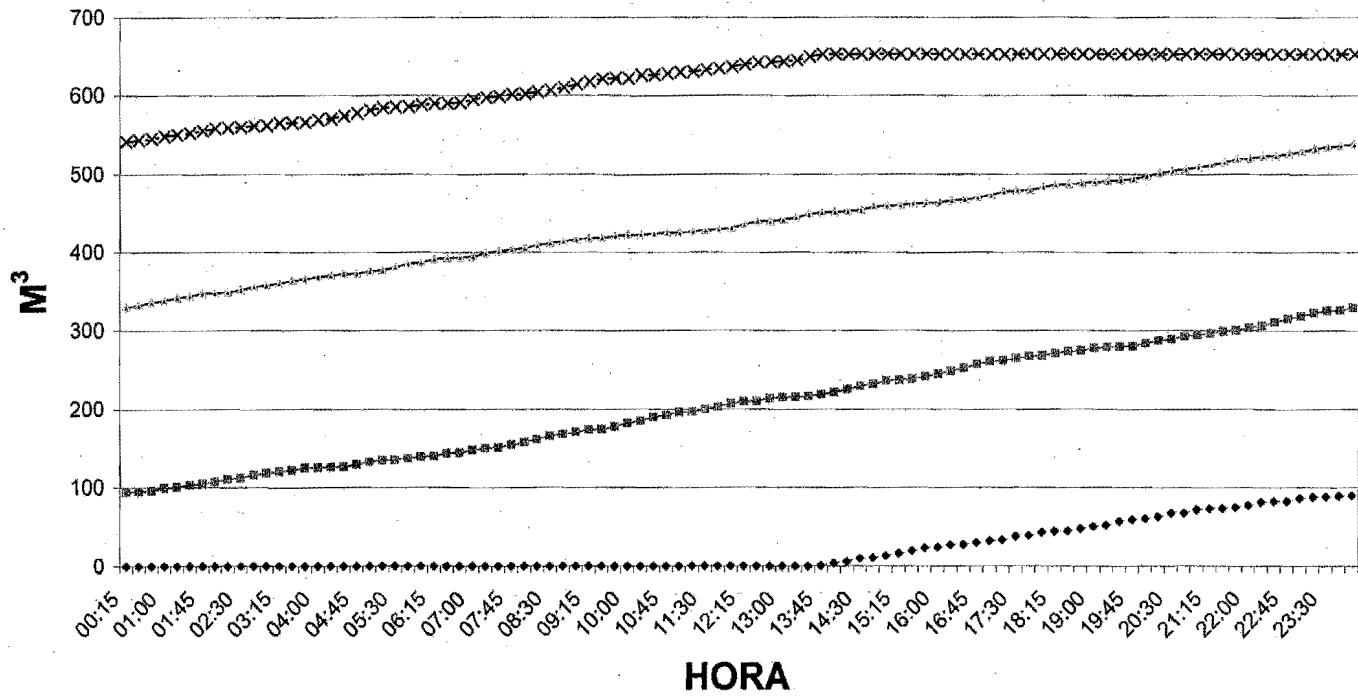


# VOLUMEN (M<sup>3</sup>) & CAUDAL (GMP) FOLIO 006222

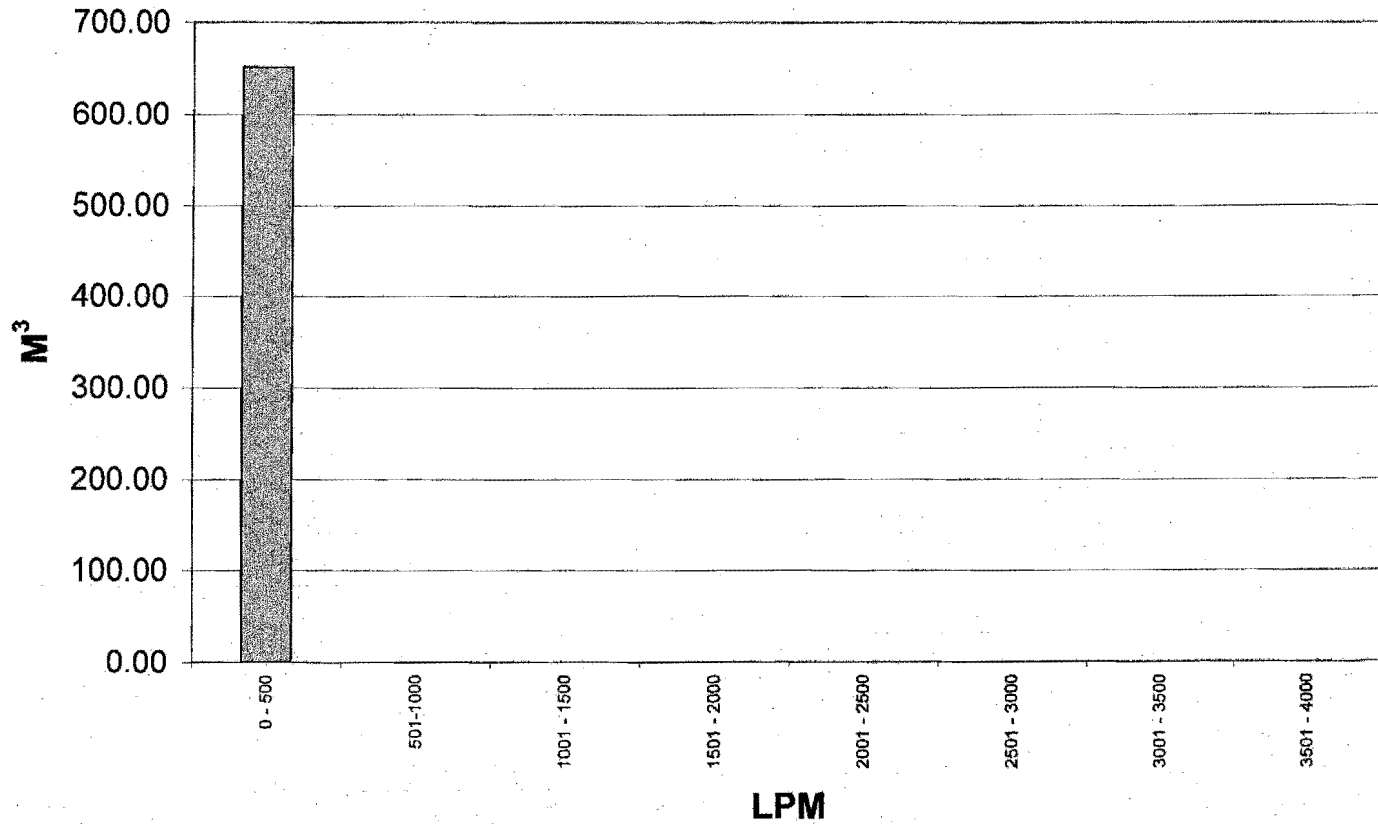


# VOLUMEN ACUMULADO FOLIO 006222

---♦--- 26/Sep    ---■--- 27/Sep    ---○--- 28/Sep    ---x--- 29/Sep



# VOLUMEN (M<sup>3</sup>) & CAUDAL (LPM) FOLIO 006222





## CAPITULO VII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. Conclusiones

Es innegable que el agua es uno de los bienes más importantes del planeta y al que se tiene menos acceso, y en países como el nuestro existen factores que dificultan la disponibilidad natural de este recurso. Además de las características físicas y sociales imperantes, el consumo extraordinario y el desperdicio inmoderado provoca la falta de suministro hacia algunas localidades, o bien, el abastecimiento pero en cantidades insuficientes.

La medición adecuada de este recurso, representa una alternativa para el mejoramiento de los sistemas de suministro y distribución de agua potable, por lo que se puede concluir lo siguiente:

- El agua potable no se debe considerar solo como un recurso natural, como un bien inagotable, como lo pudiera ser el aire, sino también y ante todo, como un bien económico, entendiendo que, un bien económico es toda cosa que satisface, directa o indirectamente, deseos o necesidades de los seres humanos; el agua es escasa por lo que su disponibilidad es inferior a la demanda. Así pues, el agua como todo bien económico no solo tiene un valor de uso, sino también posee un valor de cambio, por lo que se debe pagar por su uso, y considerando su nivel de escasez, se deben buscar vías más eficaces y eficientes para su administración y conservación.
- La cantidad de agua disponible varía considerablemente de un país a otro y la población que se asienta en cada uno de ellos no necesariamente corresponde con esta disponibilidad. En México, se presentan condiciones de desequilibrio, debido a las diferencias climáticas y a la distribución de la población y de las actividades productivas.



- En México los sistemas hidráulicos operan subsidiados, por ende, es un servicio que se le subsidia a todos los usuarios incluyendo a los grandes usuarios que utilizan al agua potable como materia prima o insumo.
- El objetivo básico durante muchos años ha sido proveer el servicio a toda la población, incluyendo aquellos asentamientos suburbanos no contemplados en la planeación del servicio hidráulico y asentados en sitios que requieren diseños de alta tecnología y de grandes inversiones. Con esta prioridad, los sistemas hidráulicos desarrollaron alta tecnología nacional hidráulica, estructural, geotécnica y electromecánica y se asentaron las bases técnicas disponibles para resolver cualquier problemática que se presentare. Sin embargo, se ha descuidado la eficiencia y la eficacia de la administración del servicio y la solución a los problemas hidráulicos depende de la disponibilidad económica de los erarios.
- El marco jurídico que regula toda la materia de aguas en el país queda representado por los preceptos constitucionales enunciados, por la Ley reglamentaria del artículo 27 Constitucional en materia de aguas nacionales, la Ley de Aguas Nacionales que viene a sustituir a la Ley Federal de Aguas.
- La Ley de Aguas Nacionales sustenta la evolución del marco institucional y el desarrollo de los elementos de la política hidráulica, en un horizonte de mediano y largo plazos.
- Con objeto de responder a la problemática presente en los organismos operadores del país, la Comisión Nacional del Agua ha diseñado programas de apoyo como el Programa de Devolución de Derechos (PRODDER), destinado a mejorar la eficiencia e infraestructura de agua en los municipios, mediante la devolución de los ingresos federales obtenidos de la recaudación de los derechos de explotación, uso y aprovechamiento de aguas nacionales.



- De igual manera CNA y Banobras diseñaron el Programa para la Modernización de Prestadores del Servicio de Agua y Saneamiento (PROMAGUA), el cual fue analizado y elaborado con la participación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- El PROMAGUA está dirigido a apoyar a los prestadores del servicio de agua y saneamiento; funcionando como una fuente adicional de recursos para fomentar la consolidación de los organismos operadores de agua, impulsando su eficiencia física y comercial, facilitando el acceso a tecnología de punta y fomentando que se alcance la autosuficiencia mediante el cuidado del medio ambiente con proyectos de saneamiento y de una nueva cultura de cuidado y uso racional del agua.
- El control hidráulico es la base esencial para el suministro integral de las fuentes acuíferas para el consumo humano.
- La medición de los caudales es junto con la medición de la presión y del nivel, uno de los sistemas de obtención de datos más importantes para el control hidráulico.
- Los instrumentos de medición son muy variados y por lo mismo existen diferentes clasificaciones acordes a la obtención de resultados.
- Los medidores utilitarios son aquellos que se utilizan para cuantificar los volúmenes de consumo de los distintos tipos de usuarios, generalmente se instalan en los cuadros de las tomas domiciliarias de los usuarios.
- Los medidores industriales se utilizan para cuantificar volúmenes y caudales para coleccionar datos que permitan incrementar la eficiencia de operación de los servicios hidráulicos; se instalan en infraestructura hidráulica: líneas de conducción, tanques de almacenamiento, descargas de pozos, colectores de aguas negras, descargas de drenaje de usuarios, líneas de distribución de agua residual tratada, etc.



- Dentro de los medidores utilitarios existen dos tipos esenciales de medidores con diferentes principios de funcionamiento: el medidor inferencial o de velocidad y el medidor de desplazamiento positivo o volumétrico.
- Los medidores de velocidad, están destinados a medir el consumo de agua utilizando el principio inferencial, que consiste en deducir o inferir el volumen de agua tomando como referencia el número de revoluciones que adquiere un rotor accionado por el flujo del agua. El volumen de agua indicado por el registrador del medidor, es directamente proporcional al número de revoluciones dadas por las aspas.
- Los medidores de desplazamiento positivo o volumétricos, basan su medición en el número de veces en que es llenada una cámara de volumen determinado.
- En los medidores de velocidad los sedimentos que pasan por su filtro no paralizan su elemento móvil, en cambio, en los medidores volumétricos algunas partículas pueden detener su mecanismo, impidiendo el paso total del agua.
- Los medidores compuestos son aquellos que tienen una combinación de los medidores volumétricos y los de velocidad, dentro de un mismo mecanismo. Sirven para medir los patrones de suministro que presentan gastos altos y bajos representativos.
- Los medidores proporcionales, consisten en derivar parte del agua por un "by pass" provisto de un medidor pequeño. Este medidor pequeño o en derivación es generalmente un medidor de desplazamiento positivo.
- Los medidores magnéticos aprovechan el principio de inducción magnética, calculan la velocidad del agua en una tubería y el volumen de agua que pasa por ahí durante un determinado tiempo, y luego mandan una señal digital que se puede leer fácilmente en la pantalla del aparato.



- La instalación de un medidor depende de las condiciones de abastecimiento, incluyendo la calidad del agua proporcionada. Por lo cual se deben de tomar en cuenta las características operativas de cada medidor.
- Los sistemas de información permiten recabar los consumos medidos, a fin de procesar la información en forma más eficiente, lo cual conlleva al mejoramiento de las redes de suministro, para que haya una distribución justa y equitativa del agua, que junto con el pago de derechos por el uso del servicio, coadyuve al racionamiento de la misma.
- Existen tres tipos fundamentales de sistemas de información: el sistema de lectura automática, el sistema de control supervisorio y de adquisición de datos y la telegestión.
- Los sistemas de información al igual que los medidores de flujo son una inversión, ya que pasan a formar parte del activo del organismo operador y deben seleccionarse bajo un esquema de beneficio - costo.
- Dentro de los medidores auditores se encuentra el Tubo Pitot el cual es un medidor indirecto de caudal, destinado a la medición del mismo a través de la cuantificación de la velocidad del flujo utilizando la ecuación de continuidad.
- Los medidores ultrasónicos también son medidores auditores que utilizan los principios de la acústica, teniendo su origen en el sonar. Los medidores ultrasónicos cuentan con unos emisores de ondas de ultrasonido y unos receptores de las mismas (transductores). Si el agua está en movimiento, las ondas reflejadas tendrán una frecuencia diferente a la emitida; la diferencia de frecuencia indica al dispositivo la velocidad de la corriente.
- Las auditorías del agua son una herramienta básica en la captación de recursos y en la recuperación de volúmenes de agua potable, ya que permiten obtener la función de disposición final del agua, mediante la cual





se realiza el balance hidráulico y se cuantifican los volúmenes de suministro, consumo, de desecho, de fugas y de tomas clandestinas.

- Las auditorías del agua se aplican a usuarios del servicio, a infraestructura hidráulica específica (tanques, líneas de conducción, colectores, plantas, etc.), a distritos hidráulicos, a colonias, ciudades, estados, países.
- Las auditorías del agua se aplican también a medidores existentes o a puntos de medición para seleccionar un medidor permanente.
- En las auditorías de medidores se establecen diferentes rangos de gastos, para cada rango se calcula el volumen de suministro y en términos de costo/beneficio se elige el medidor mas adecuado y preciso.
- Las auditorías del agua proveen los elementos suficientes para reestructurar tarifas de derechos considerando el costo que implica la disposición del agua y del drenaje en los inmuebles y la recaudación de derechos. La recaudación siempre debe ser mayor a los costos de disposición.
- Mediante la lectura precisa de consumos, se incrementan los derechos recaudados y se reduce la relación costo/beneficio que se presenta en el mantenimiento y control de los grandes consumidores.
- Mediante las auditorías del agua se proveen elementos para cambiar la cultura actual sobre los usos del agua potable, ya que al incrementarse la recaudación se induce al usuario a cambiar sus hábitos de consumo optimizando el uso del agua; disminuye el consumo pero no disminuye de igual manera la recaudación.



## 7.2. Recomendaciones

Para llevar un control en la realización de las auditorías del agua es necesario conocer algunas recomendaciones básicas que permitan tener un mejor desempeño de los aparatos de medición empleados y la mejor obtención de resultados. Entre las recomendaciones destacan:

- Establecer un programa específico del control y administración de grandes usuarios.
- Auditar en paralelo todos los medidores utilitarios del usuario en estudio.
- Considerar en el programa de sectorización y en el balance hidráulico el error de medición de los grandes usuarios.
- Aplicar las metodologías de auditorías de medidores expuestas en este documento para proyectar el nivel de precisión del parque de micromedidores por sector hidráulico, considerando que el parque integral, en general, no recibe el mantenimiento y renovación requeridos.
- Utilizar los equipos auditores para la selección y dimensionamiento de válvulas hidráulicas reguladoras de presión.
- Se debe considerar, para el programa de micromedición la auditoría por zonas de presión, nivel socioeconómico, densidad de población y calidad para seleccionar micromedidores por zonas.
- Es recomendable realizar una visita previa al lugar para conocer las características físicas del sitio y de la instalación hidráulica y así determinar la factibilidad de la auditoría.
- Es conveniente realizar la selección del punto de medición tomando en cuenta las características de operación del medidor auditor a utilizar.
- Se debe asegurar instalar el medidor en un punto de la tubería en que se asegure que el tubo trabaja completamente lleno.



- Es muy importante que haya la mayor extensión posible aguas arriba, para que exista un perfil de velocidad bien desarrollado en el punto de medición. Debe haber como mínimo tres diámetros de tubería de corriente continua aguas abajo después del punto de medición.
- Es primordial que los sensores sean instalados correctamente sobre la tubería para asegurar su debida precisión. Si es una tubería horizontal, los sensores tendrán que estar localizados a los lados y no arriba y debajo de la tubería.
- En general, es recomendable instalar el medidor respetando las características de operación del medidor, para asegurar que la precisión del mismo sea la mejor posible.
- Es conveniente inspeccionar la tubería y seleccionar una sección que se encuentre relativamente lisa y libre de salientes y de ranuras profundas.
- Se recomienda quitar todo elemento extraño como tierra, herrumbre, revestimientos, etc. que se encuentren en el área de la tubería en donde se localizarán los sensores. La superficie de la tubería debe quedar limpia y lisa; para este fin tal vez sea necesario emplear una lima o esmeril.
- Es muy importante que los sensores queden instalados en la dirección correcta y a la distancia correcta entre el nivel del agua y la cara del sensor.
- Antes de instalar los sensores se debe aplicar un lubricante que permite una mejor transmisión de la señal.
- Una vez instalado el medidor, es conveniente monitorear periódicamente, para asegurar que no exista ningún problema en su funcionamiento y se pierdan los datos almacenados debido a variables ajenas a nuestro control, como falta de energía eléctrica, condiciones climatológicas desfavorables, fauna nociva en el sitio, vandalismo, etc.



## BIBLIOGRAFIA

GUAYCOCHEA GUGLIELMI, Darío. *Flujo en Tubos a Presión, Fascículo 1: Introducción al flujo en tuberías, Pérdidas de energía por fricción*. México: Fundación ICA, Universidad Autónoma del Estado de México.

GUERRERO, Manuel. *El Agua*. 2da. edición. México D.F.: Fondo de Cultura Económica, 1999.

LEVI, Enzo. *El agua según la ciencia*. México: CONACYT-Ediciones Castell Mexicana, 1989.

MARTÍN MORENO, Francisco. *Sequía, México 2004*. México: Grijalbo, 1997.

SOTELO ÁVILA, Gilberto. *Hidráulica General, Volumen 1: Fundamentos*. Novena reimpresión, México: Limusa, 1987.

BOURGUETT ORTIZ, Víctor Javier. *Serie Autodidáctica de Medición del Agua: Medidor Ultrasónico Tiempo en Tránsito*. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

BUENFIL RODRÍGUEZ, Mario Oscar. *Serie Autodidáctica de Medición del Agua: Medidor Electromagnético*. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

PATIÑO G., C. *Serie Autodidáctica de Medición del Agua: Medidor Ultrasónico de Efecto Doppler para Tuberías*. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

RUIZ APARICIO, José Ángel. *Serie Autodidáctica de Medición del Agua: Tubo Pitot*. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.



*Compendio DGCOH 1999.* México: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, 1999.

*Código Financiero del Distrito Federal.* México: Secretaría de Finanzas del Gobierno del D.F., 2004.

*El Agua en México: retos y avances.* México: Comisión Nacional del Agua, 2000.

*Estadísticas del Agua en México, 2004.* 2da. edición. México: Comisión Nacional del Agua, 2004.

*Estados Unidos Mexicanos Cien Años de Censos de Población.* México: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1996.

*Ley de Aguas Nacionales.* México: Diario Oficial de la Federación, 1992.

*Memoria: Programa de Uso Eficiente del Agua.* México: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, 1990.

*Proyecciones de Población 2000 – 2030.* México: Consejo Nacional de Población, 2003.

*Reglamento de la ley de aguas nacionales.* México: Diario Oficial de la Federación, 1994.

*Sistema Hidráulico del Distrito Federal, Cronología.* México D.F.: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, 1994.

*Water Meters: Selection, Installation, Testing, and Maintenance.* 3ra edición. American Water Works Association.



*XII Censo General de Población y Vivienda, Febrero 2000*. México: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2000.

ADELSON, Naomi. "Water woes: Private investment plugs leaks in water sector". *Revista Business México*, Marzo 2000, pp. 24-33.

BUENFIL RODRÍGUEZ, Mario Oscar. "Tarifas: Necesidad de mecanismos de regulación y tarifas completas en los servicios de agua y saneamiento". *Revista Agua y Saneamiento*, Abril 2004, pp. 30-31.

FELIX VILLAVICENCIO, Agustín. "Administración de los usos del agua en México". *Revista Vector de la ingeniería civil*. Enero 1999, pp. 11-13.

FUENTES MARILES, Oscar. "El Plan Maestro de Agua Potable". *Revista Hidráulica Urbana DGCOH*. Noviembre 1997, pp. 5-23.

GRUPO REFORMA. "Sugieren aumento a costo de agua". *Periódico Reforma*, 21 de Marzo de 2001.

MATEOS LÓPEZ, Arturo y LAVÍN HIGUERAS, Enrique. "Acueducto Perimetral de la ciudad de México". *Revista Hidráulica Urbana, DGCOH*, Junio 1997, pp. 21-31.

SAAVEDRA S., Manuel T. "¿Qué es un Sistema Scada?". *Revista Agua y Saneamiento*, Abril 2004, pp. 56-57.

SOSA, Iván. "Agua y drenaje; gran desafío". *Periódico Reforma*, Diciembre 2000.

SOSA, Iván. "Proponen regular tarifa de agua". *Periódico Reforma*, 22 de Marzo de 2001.



SOSA, Iván. "Admiten elevado subsidio". Periódico Reforma, 22 de Marzo de 2001.

SOSA, Iván y VELÁZQUEZ, Francisco. "Se agudiza sed en delegaciones". Periódico Reforma, 24 de Marzo de 2001.

YBARRA, Chema. "El futuro amargo del agua dulce". Revista GEO, Agosto 2000, pp. 108-115.

Páginas de Internet consultadas:

[www.aguayaire.com](http://www.aguayaire.com)

[www.aguaydesarrollosustentable.com](http://www.aguaydesarrollosustentable.com)

[www.awwa.org](http://www.awwa.org)

[www.badgermeter.com](http://www.badgermeter.com)

[www.cicasa.com](http://www.cicasa.com)

[www.cna.gob.mx](http://www.cna.gob.mx)

[www.df.gob.mx](http://www.df.gob.mx)

[www.eastechbadger.com](http://www.eastechbadger.com)

[www.imta.mx](http://www.imta.mx)

[www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)

[www.mgdinc.com](http://www.mgdinc.com)

[www.obras.df.gob.mx](http://www.obras.df.gob.mx)

[www.sappel.com](http://www.sappel.com)

[www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)

[www.sensus.com](http://www.sensus.com)

[www.unidata.com.au](http://www.unidata.com.au)